



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE FORESTE, LA
NATURA E L'ENERGIA**

Corso di Dottorato di Ricerca in

Ingegneria dei Sistemi Agrari e Forestali - XXVI Ciclo.

**STUDIO REALIZZAZIONE E SPERIMENTAZIONE DI SISTEMI FORMATIVI INNOVATIVI
NEL SETTORE DELL'ENERGIA E DELL'AMBIENTE
L-ART/06**

Tesi di dottorato di:

Dott.ssa Carla Sambrotta

Coordinatore del corso

Prof. Massimo Cecchini

Firma

Tutore

Prof. Ing. Danilo Monarca

Firma

Co-tutore

Dott. Ing. Sonia Castellucci

Firma.....

23 giugno 2014

Introduzione

Il progetto triennale del mio Dottorato di Ricerca si è basato sia sulla progettazione e realizzazione di un Dizionario multimediale delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente Sostenibile, destinato a studenti universitari e liceali, sia sulla sperimentazione del Dizionario nelle scuole d'istruzione di secondo grado e nei corsi biennali dell'ITS Agroalimentare di Viterbo. La sperimentazione è consistita in una attività didattica che ha utilizzato come materiale didattico il Dizionario multimediale delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente e che ha previsto lezioni frontali e un project work (con la realizzazione di un cortometraggio sull'Ambiente da parte degli studenti).

Questa attività di ricerca si inserisce nel Progetto del Dipartimento Territorio della Regione Lazio, approvato con Determinazione n. B3029 del 7/7/2009, avente oggetto: "Preso d'atto dell'accordo volontario con l'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo per la realizzazione del progetto – Crediti formativi nelle Università del Lazio". Nell'ambito di quanto sopra, è prevista l'attivazione di un corso di alfabetizzazione e di un supporto multimediale didattico il "Dizionario delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente Sostenibile".

Il Dizionario multimediale che ho realizzato è un glossario che analizza in ordine alfabetico alcune parole chiave delle problematiche energetiche e ambientali. Ogni parola chiave viene presentata con una formula standard (p. es. "P...come Politiche energetiche", "R...come Risparmio energetico", etc.), spiegata in modo esaustivo e illustrata da immagini. Ad arricchire le informazioni vengono inseriti dei link evidenziati in rosso e in verde: i link in rosso hanno un carattere divulgativo e giornalistico, permettendo di soddisfare delle "curiosità" relative ai temi trattati; i link in verde hanno un carattere scientifico e tecnico. Così strutturato, il Dizionario multimediale ha più codici di lettura e può prevedere più destinatari.

Quanto alla sperimentazione del Dizionario nelle scuole d'istruzione di secondo grado, questa si è resa necessaria per verificare la ricaduta del format audiovisivo sulle scuole e soprattutto per una sensibilizzazione degli studenti alle tematiche ambientali e energetiche del

terzo millennio. La sperimentazione si è realizzata con lezioni frontali, tenute dalla sottoscritta, con l'utilizzazione del Dizionario dell'Ambiente e dell'Energia come materiale didattico, e con un project work in cui gli studenti hanno realizzato un cortometraggio o un spot di pubblicità progresso su uno dei temi affrontati durante le lezioni in aula.

La realizzazione del cortometraggio ha avuto una duplice funzione: sviluppare conoscenze e competenze sul linguaggio audiovisivo per una comunicazione al passo con l'era digitale e sperimentare quanto appreso dagli studenti utilizzando la loro creatività e le loro basi cognitive. Una volta realizzato, il cortometraggio è stato inserito nei siti della scuola, dell'ITS Agroalimentare e dell'Università della Tuscia, oltre che sui social media.

Gli obiettivi del dizionario sono stati:

1) garantire una stretta collaborazione scientifica tra università e scuole, e tra università e ITS Agroalimentare, per difendere i diritti della Natura e promuovere un'educazione all'ambiente attraverso lo sviluppo sostenibile e la promozione delle energie rinnovabili

2) rendere interessante e “veloce” la comunicazione, attraverso un Dizionario multimediale che abbia più codici di lettura

2) aprire un varco scientifico anche se semplificato nella “foresta” delle informazioni date dai media, da internet e dall'enciclopedismo dei manuali;

3) offrire ai docenti e agli studenti della scuola secondaria superiore degli spunti a tema per una didattica interdisciplinare e trasversale

4) superare il testocentrismo attraverso la videodidattica, che veda gli studenti non solo fruitori ma anche autori di format audiovisivi in digitale, per una informazione e comunicazione circolare e attiva

5) verificare la ricaduta del Dizionario sugli studenti attraverso il suo utilizzo nell'ambito della didattica

5) garantire una stretta collaborazione scientifica tra università e scuole, e tra università e ITS Agroalimentare, per difendere i diritti della Natura e promuovere un'educazione all'ambiente attraverso lo sviluppo sostenibile e la promozione delle energie rinnovabili.

Capitolo 1.

I ANNO

Quanto ai percorsi formativi, la sottoscritta ha frequentato il corso di aggiornamento sulle tecnologie di produzione ed utilizzazione delle fonti energetiche rinnovabili promosso dal Centro Interdipartimentale di Ricerca e Diffusione delle Energie Rinnovabili, dal 6 giugno 2011 al 9 giugno 2011.

Quanto all'attività di ricerca, come da progetto, si è sviluppata in due fasi:

la prima fase si è basata sull'attività di ricerca con la progettazione e realizzazione della prima parte del Dizionario multimediale dell'Ambiente e delle Energie Rinnovabili

la seconda fase si è basata sulla sperimentazione del Dizionario in oggetto, presso il liceo scientifico "Ruffini" di Viterbo, dal 28 Febbraio al 3 Marzo 2012.

Durante la prima fase, completata la progettazione, sono state ultimate le seguenti voci del Dizionario multimediale:

A come...Ambiente

B...come Biomasse

F... come Fotovoltaico

Le fonti bibliografiche utilizzate sono state: testi e dispense universitari, riviste scientifiche, siti internet, interviste a docenti universitari, che la sottoscritta ringrazia per la disponibilità e la collaborazione.

Durante la seconda fase, dopo fruttuosi incontri a Ottobre, Novembre e Dicembre 2011 con la Dirigente scolastica e il corpo docente del Liceo Scientifico Ruffini di Viterbo, la sperimentazione del Dizionario multimediale è stata concordata con i docenti della scuola, secondo le modalità e i tempi indicati nel progetto che segue.

PROGETTO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA CON IL LICEO SCIENTIFICO
"RUFFINI" (VT)

Il progetto, “LINGUAGGIO AUDIOVISIVO DIGITALE E ENERGIE RINNOVABILI”, è promosso dall’Università della Tuscia in collaborazione con il Liceo Scientifico “Ruffini” di Viterbo.

REFERENTI

Esterno: Prof. ssa Carla Sambrotta

Interno: Prof. ssa Smorto

DESTINATARI

Attività formativa rivolta agli alunni delle classi quinte (quarte) del Liceo Scientifico, per un gruppo di 25 alunni circa.

OBIETTIVI:

- ❖ sensibilizzare gli studenti al tema della Rivoluzione Verde con riferimento alle energie rinnovabili
- ❖ sviluppare conoscenze e competenze sul linguaggio audiovisivo in digitale attraverso la realizzazione di un cortometraggio sulle fonti di Energia Rinnovabile
- ❖ implementare la filiera formativa tra scuola e università

METODOLOGIE UTILIZZATE

Ogni lezione è teorica e pratica e prevede lezioni frontali e project work per la produzione di un cortometraggio sulle Energie Rinnovabili e sulle nuove tecniche di comunicazione audiovisiva.

Le lezioni sono tenute dalla prof.ssa Carla Sambrotta.

Le riprese sono effettuate dalla regista Valentina Bertuzzi, ricercatrice dell’università della Tuscia e responsabile del Laboratorio Cinematografico Audiovisivo del CIRDER.

Dal corso sono esclusi il montaggio e la color correction, che saranno effettuati in service di post-produzione

Il corso si conclude con le riprese del cortometraggio.

Terminato il corso, la prof.ssa Sambrotta segue il montaggio audio e video del cortometraggio in un service di post-produzione con uno staff di esperti (compositore della colonna musicale, montatore audio e video, tecnico del suono, regista). Sempre in questa fase si creano i titoli di testa e di coda del cortometraggio, con nomi e loghi della scuola e dell’università impegnati nel progetto e nomi e cognomi degli studenti che hanno frequentato il corso e realizzato il corto.

Completata la post-produzione, la prof.ssa Sambrotta consegna alla scuola e ai singoli studenti una copia del cortometraggio prodotto durante il corso.

MODALITÀ DI VERIFICA

- ❖ Realizzazione di DVD
- ❖ Rapporti con altre istituzioni
- ❖ Collaborazione con l'Università della Tuscia, dipartimento DAFNE
- ❖ Contenuti
- ❖ Le lezioni frontali vertono sui seguenti argomenti:
- ❖ Energie rinnovabili (solare, eolica, etc) Linguaggio audiovisivo (pre-produzione, produzione e post-produzione)
- ❖ Il project work prevede la realizzazione di una sceneggiatura per il cortometraggio (soggetto, sceneggiatura, story board)

TEMPI E DURATA

Il progetto prevede dodici incontri pomeridiani di due ore e un incontro di sei ore : trenta ore in totale.

Le lezioni teoriche e pratiche si svolgono, di norma, all'interno della scuola (aula informatica), mentre le riprese si svolgono all'esterno e/o all'interno.

In base all'organizzazione della scuola, è ipotizzabile che alcuni incontri possano avvenire anche durante la mattina nei locali del liceo o dell'Università, secondo un calendario da concordare.

RISORSE UMANE

Docenti interni di Scienze: Smorto/Di Paolo/Cepparotti

Docenti universitari: Carla Sambrotta

Non docenti: il tecnico di laboratorio

MATERIALE DIDATTICO: Dizionario multimediale dell'Ambiente e delle Energie Rinnovabili, a cura di Carla Sambrotta

L'attività ha implicato la disponibilità di un'aula dell'università degli Studi di Viterbo, c/o i locali del DISUCOM di S. M. in Gradi.

ore	Lun 27 feb	Mar 28 feb	Mer 29 feb	Gio 01 mar	Ven 02 mar	Sab 03 mar
08.10 - 09.50	Lezione frontale Energie rinnovabili (solare, eolica, etc)	Lezione frontale Energie rinnovabili (solare, eolica, etc)	Lezione frontale Energie rinnovabili (solare, eolica, etc)	Lezione frontale Energie rinnovabili (solare, eolica, etc)	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio
08.10 - 09.50	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Linguaggio audiovisivo Realizzazione sceneggiatura per il cortometraggio	Riprese (6 ore)

Il progetto triennale del mio Dottorato di Ricerca si è basato sia sulla progettazione e realizzazione di un Dizionario multimediale delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente Sostenibile, destinato a studenti universitari e liceali, sia sulla sperimentazione del Dizionario nelle scuole d'istruzione di secondo grado e nei corsi biennali dell'ITS Agroalimentare di Viterbo. La sperimentazione è consistita in una attività didattica che ha utilizzato come materiale didattico il Dizionario multimediale delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente e che ha previsto lezioni frontali e un project work (con la realizzazione di un cortometraggio sull'Ambiente da parte degli studenti).

Questa attività di ricerca si inserisce nel Progetto del Dipartimento Territorio della Regione Lazio, approvato con Determinazione n. B3029 del 7/7/2009, avente oggetto: "Preso d'atto dell'accordo volontario con l'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo per la realizzazione del progetto – Crediti formativi nelle Università del Lazio". Nell'ambito di quanto sopra, è prevista l'attivazione di un corso di alfabetizzazione e di un supporto multimediale didattico il "Dizionario delle Energie Rinnovabili e dell'Ambiente Sostenibile".

Il Dizionario multimediale che ho realizzato è un glossario che analizza in ordine alfabetico alcune parole chiave delle problematiche energetiche e ambientali. Ogni parola chiave viene presentata con una formula standard (p. es. "P...come Politiche energetiche", "R...come Risparmio energetico", etc.), spiegata in modo esaustivo e illustrata da immagini. Ad arricchire le informazioni vengono inseriti dei link evidenziati in rosso e in verde: i link in rosso hanno un carattere divulgativo e giornalistico, permettendo di soddisfare delle "curiosità" relative ai temi trattati; i link in verde hanno un carattere scientifico e tecnico. Così strutturato, il Dizionario multimediale ha più codici di lettura e può prevedere più destinatari.

Quanto alla sperimentazione del Dizionario nelle scuole d'istruzione di secondo grado, questa si è resa necessaria per verificare la ricaduta del format audiovisivo sulle scuole e soprattutto per una sensibilizzazione degli studenti alle tematiche ambientali e energetiche del terzo millennio. La sperimentazione si è realizzata con lezioni frontali, tenute dalla sottoscritta, con l'utilizzazione del Dizionario dell'Ambiente e dell'Energia come materiale didattico, e con un project work in cui gli studenti hanno realizzato un cortometraggio o un spot di pubblicità progresso su uno dei temi affrontati durante le lezioni in aula.

La realizzazione del cortometraggio ha avuto una duplice funzione: sviluppare conoscenze e competenze sul linguaggio audiovisivo per una comunicazione al passo con l'era digitale e sperimentare quanto appreso dagli studenti utilizzando la loro creatività e le loro basi cognitive. Una volta realizzato, il cortometraggio è stato inserito nei siti della scuola, dell'ITS Agroalimentare e dell'Università della Tuscia, oltre che sui social media.

Gli obiettivi del dizionario sono stati:

- 1) garantire una stretta collaborazione scientifica tra università e scuole, e tra università e ITS Agroalimentare, per difendere i diritti della Natura e promuovere un'educazione all'ambiente attraverso lo sviluppo sostenibile e la promozione delle energie rinnovabili
- 2) rendere interessante e “veloce” la comunicazione, attraverso un Dizionario multimediale che abbia più codici di lettura
- 3) aprire un varco scientifico anche se semplificato nella “foresta” delle informazioni date dai media, da internet e dall'enciclopedismo dei manuali;
- 4) offrire ai docenti e agli studenti della scuola secondaria superiore degli spunti a tema per una didattica interdisciplinare e trasversale
- 5) superare il testocentrismo attraverso la videodidattica, che veda gli studenti non solo fruitori ma anche autori di format audiovisivi in digitale, per una informazione e comunicazione circolare e attiva
- 6) verificare la ricaduta del Dizionario sugli studenti attraverso il suo utilizzo nell'ambito della didattica
- 7) 5) garantire una stretta collaborazione scientifica tra università e scuole, e tra università e ITS Agroalimentare, per difendere i diritti della Natura e promuovere un'educazione all'ambiente attraverso lo sviluppo sostenibile e la promozione delle energie rinnovabili.

Capitolo 2.

II ANNO

Quanto ai percorsi formativi, dal 18/06/2012 al 22/06/2012 ho frequentato il corso di aggiornamento, “Le fonti energetiche rinnovabili e l’uso razionale dell’energia” (30 ore), promosso dal Centro Interdipartimentale di Ricerca e Diffusione delle Energie Rinnovabili.

Quanto all’attività di ricerca, come da progetto, si è sviluppata in due fasi:

la prima fase si è basata sull’attività di ricerca con la progettazione e realizzazione della seconda parte del Dizionario multimediale dell’Ambiente e delle Energie Rinnovabili;

la seconda fase ha messo in pratica il progetto con il liceo scientifico statale “Ruffini”, progettato nel primo anno di ricerca e analiticamente descritto nella relazione del primo anno.

Durante la prima fase, sono state ultimate le seguenti voci del Dizionario multimediale:

E... come Eolico

I... come Idrogeno

N... come Normativa Ambientale

Le fonti bibliografiche utilizzate sono state: testi e dispense universitari, riviste scientifiche, siti internet, interviste a docenti universitari, che la sottoscritta ringrazia per la disponibilità e la collaborazione.

Durante la seconda fase, si è passato dalla fase di progettazione del primo anno alla fase di realizzazione del progetto, “LINGUAGGIO AUDIOVISIVO DIGITALE E ENERGIE RINNOVABILI”, promosso dall’Università della Tuscia in collaborazione con il Liceo Scientifico “Ruffini” di Viterbo e analiticamente descritto nella relazione del primo anno. Grazie alla proficua collaborazione della Dirigente Scolastica Prof.ssa Maria Antonietta Bentivegna e del corpo docente, coordinato dalla Prof.ssa Marina Cepparotti, che sono riusciti a coinvolgere gli studenti del IV anno del liceo scientifico, il progetto è riuscito a creare interesse e entusiasmo. Come da programmazione, ho svolto presso l’aula 5 del DISUCOM

dell'università della Tuscia sia le lezioni frontali che il project work, con una presenza costante e partecipe degli studenti. Il corso, come da programmazione, è durato 30 ore, secondo le unità didattiche previste e utilizzando il Dizionario multimediale oggetto della ricerca, e si è concluso con la realizzazione di un cortometraggio, che ha avuto per tema l'Earth Day 2012, con un originale confronto tra l'Earth Day del 1970 e quello del 2012. Gli studenti sono stati autori e attori del cortometraggio. Le riprese sono state effettuate dalla regista Valentina Bertuzzi, ricercatrice del DISUCOM e responsabile del laboratorio audiovisivo e cinematografico dell'università della Tuscia. Montaggio e color correction, sono stati effettuati in service di post-produzione. Il cortometraggio, è stato visionato pubblicamente:

- nell'Aula Magna del Liceo Scientifico Statale "Ruffini" (VT), alla presenza degli studenti della scuola, dei docenti e della Dirigente Scolastica
- nella manifestazione SUSTAINABILITY³ promossa dall'USAC nell'Aula Magna di Santa Maria in Gradi (VT), il 18 Aprile 2012
- nella manifestazione Energia in Movimento, presso Domus La Quercia (VT), il 16 giugno 2012

Il video può essere visionato nel sito http://www.youtube.com/watch?v=cW_l1c-C4tQ

Il corso ha raggiunto i seguenti obiettivi:

- Sensibilizzare gli studenti al tema della Rivoluzione Verde con riferimento alle energie rinnovabili
- Sviluppare conoscenze e competenze sul linguaggio audiovisivo in digitale attraverso la realizzazione di un cortometraggio sulle fonti di Energia Rinnovabile
- Implementare la filiera formativa tra scuola e università

Quanto alle mie attività didattiche, durante il secondo anno di Dottorato di Ricerca, ho svolto attività di docenza con il modulo didattico "Comunicazione Aziendale in digitale" (50 ore) nell' ITS Agroalimentare di Viterbo (Istituto Tecnico Superiore), presso la sede del CIRDER, Orte .

Il modulo didattico, "Comunicazione Aziendale in digitale", promuove la conoscenza del linguaggio audiovisivo in digitale, con particolare riferimento al web-marketing e ha i seguenti obiettivi:

- ✓ garantire conoscenze sociologiche e informatiche sulla rivoluzione digitale (telematica, multimedialità, social network, pubblicità, etc.)
- ✓ promuovere competenze di base per la realizzazione di uno spot pubblicitario in digitale sul rispetto dell'ambiente attraverso una produzione agroalimentare sana. (durante il corso svolto presso il CIRDER (Orte) ho realizzato con gli studenti lo

spot pubblicitario del vino “EST! EST! EST! , che si può visionare su https://www.youtube.com/watch?v=22Dc_0VS2vk)

- ✓ implementare il laboratorio audiovisivo del CIRDER e l’offerta formativa universitaria

Infine, quanto all’ITS Agroalimentare di Viterbo, presso la sede del CIRDER (Orte), dove ho iniziato l’insegnamento del modulo didattico “Tecniche di promozione e commercializzazione con strumenti multimediali”(50 ore di docenza, annualità 2012-2013), ho promosso un accordo con la tv satellitare di Tele Orte per promuovere la trasmissione televisiva “ITS Agroalimentare di Viterbo: parlano gli studenti”, in cui gli studenti del II anno dell’ITS hanno offerto lezioni “in pillole” su quanto appreso nel modulo didattico. La “scaletta” degli interventi è preparata da me, previo lezioni in classe e ricerche degli studenti. Le trasmissioni (previste a cadenza settimanale per la durata di 20 minuti ciascuna) hanno avuto per tema argomenti di grande interesse e attualità e riguardano, tra gli altri, i seguenti argomenti:

- ALIMENTI A KM 0 (il video può essere visionato nel sito <http://www.youtube.com/watch?v=0V4DO8KGBww>)
- BIOAGRICOLTURA ECOSOSTENIBILE (il video può essere visionato nel sito <http://www.youtube.com/watch?v=Fyzk96Czy7k>)
- TECNICHE DI PERSUASIONE PUBBLICITARIA RELATIVE A PRODOTTI AGROALIMENTARI (il video può essere visionato nel sito <http://www.youtube.com/watch?v=DSgS3QN1CLw>)

Durante ciascuna trasmissione televisiva, gli interventi dei singoli studenti sono intervallati da video, che illustrano quanto detto e che sono stati scelti dagli studenti durante le mie lezioni e dietro le mie direttive. La regia e il montaggio delle trasmissioni sono di competenza di Tele Orte.

Obiettivi di questa iniziativa sono stati:

- ancorare al territorio l’ITS Agroalimentare con sede presso il CIRDER (Orte)
- garantire la trasparenza dell’ITS
- promuovere informazione sul tema dell’Ambiente e delle Energie Rinnovabili, attraverso trasmissioni televisive sull’agroalimentare.

Capitolo 3.

III ANNO

La mia attività di ricerca, come da progetto, si è sviluppata in due fasi:

- la prima fase si è basata sull'ultimazione e revisione del Dizionario multimediale dell'Ambiente e delle Energie Rinnovabili
- la seconda fase si è basata sull'attività di didattica, svolta sia nel II anno del corso ITS Agroalimentare di Viterbo (con sede a Orte, presso il CIRDER), per la durata di 50 ore, sia nel I anno del nuovo corso ITS Agroalimentare di Viterbo (con sede a Orte, presso il CIRDER), per la durata di 42 ore.

Il modulo didattico “Comunicazione in digitale e web-marketing” (50 ore), svolto durante il II anno del corso biennale ITS Agroalimentare di Viterbo (con sede a Orte, presso il CIRDER), come da progetto, si è basato su lezioni frontali, che hanno utilizzato come materiale didattico anche il Dizionario multimediale dell'Ambiente e delle Energie Rinnovabili, e su un project work sul tema del biogas. Durante il corso ho rinnovato l'accordo con la tv satellitare di Tele Orte per promuovere la IV puntata della trasmissione televisiva “ITS Agroalimentare di Viterbo: parlano gli studenti”, in cui gli studenti del II anno dell'ITS offrono lezioni “in pillole” su quanto appreso nel modulo didattico. Il tema della puntata è stato “Impianti di Biogas”. Durante la trasmissione televisiva, gli interventi dei singoli studenti sono intervallati da video, che illustrano quanto detto e che sono stati selezionati su internet dagli studenti durante le mie lezioni e dietro le mie direttive. La regia e il montaggio delle trasmissioni sono state di competenza di Tele Orte. Le riprese si sono svolte presso la sede del CIRDER a Orte. Il video può essere visionato sia sulla pagina FB dell'ITS Agroalimentare di Viterbo, sia su <http://www.youtube.com/watch?v=T0JCN-NBQXc>

Il video realizzato ha partecipato alla settima edizione del Premio Unioncamere: "Scuola, Creatività e innovazione", bandito da Unioncamere per assegnazione di borse -premio

e di dotazioni finanziarie per acquisto di materiali didattici. Il premio è destinato agli studenti delle scuole secondarie e degli IFTS al fine di sviluppare progetti originari per valorizzare le capacità creative su tre temi fondamentali:

- energia e ambiente
- beni culturali e territorio
- salute e sicurezza

Il video realizzato è stato selezionato per la fase finale del concorso ancora in atto.

Il modulo didattico “ Comunicazione in digitale e web-marketing” (42 ore), svolto durante il I anno del nuovo corso biennale ITS Agroalimentare di Viterbo (con sede a Orte, presso la sede CIRDER), come da progetto, si è basato su lezioni frontali, che hanno utilizzato come materiale didattico il Dizionario multimediale dell’Ambiente e delle Energie Rinnovabili, e su un project work che ha avuto per tema L’agricoltura chimica e l’agricoltura biologica. In particolare ho realizzato con gli studenti uno spot dell’Azienda Agricola Capati (Civitacastellana), che mostra una coltivazione attenta all’Ambiente e alla salute. Lo spot è in fase di postproduzione.

Obiettivi della mia didattica sono stati:

- promuovere informazione sul tema dell’Ambiente e delle Energie Rinnovabili, sia attraverso una didattica innovativa basata sul mio Dizionario multimediale, sia attraverso trasmissioni televisive sull’agroalimentare e spot pubblicitari, che abbiano per tema la salvaguardia ambientale e come coautori gli studenti dei miei corsi
- verificare la ricaduta sugli studenti del mio Dizionario multimediale sull’Ambiente e sulle Energie Rinnovabili
- rinsaldare i rapporti formativi tra Università, Scuola e Fondazione ITS Made in Itali Settore Agroalimentare.



DIZIONARIO DELL'AMBIENTE

Dottorato di ricerca dei Sistemi Agrari e Forestali XXVI ciclo
CARLA SAMBROTTA

3 marzo 2014

INDICE INTERATTIVO

- A come AMBIENTE
- B come BIOMASSE
- E come EOLICO
- F come FOTOVOLTAICO
- I come IDROGENO
- N come NORMATIVA AMBIENTALE
- R come RIFIUTI
- S come SOLARE TERMICO E TERMOELETTRICO

A come... Ambiente

PIANETA TERRA O PIANETA SERRA?

Il 22 aprile del 1970 milioni di cittadini statunitensi, rispondendo ad un appello lanciato dal senatore democratico Gaylord Nelson, scesero in piazza per chiedere un mondo più pulito e sostenibile. Quella data segna la nascita del movimento ambientalista e da allora il 22 aprile si celebra l'Earth Day, la giornata mondiale della terra: un evento che coinvolge circa 180 Paesi in tutto il mondo. Rispetto al passato, però, oggi le sfide che il nostro pianeta deve affrontare sono ben più ardue: non solo inquinamento di mari e fiumi, deforestazione e desertificazione, ma perdita di habitat e, soprattutto, cambiamenti climatici innescati dalla crescita vertiginosa dell'economia globale e da una politica energetica basata sui carburanti fossili. Il pianeta Terra si sta infatti trasformando in pianeta Serra, e questo è dovuto all'immissione in atmosfera di grandi quantità di gas ad effetto serra, i cosiddetti gas climalteranti, tra cui l'anidride carbonica (CO₂): all'aumento dell'effetto serra corrisponde l'aumento della temperatura sulla superficie terrestre. La concentrazione in atmosfera del principale gas climalterante (CO₂, anidride carbonica) continua ad aumentare come risultato della combustione di combustibili fossili, infatti ogni processo di combustione produce anidride carbonica (CO₂) che, a differenza dei gas inquinanti, non si combina con gli agenti atmosferici per dar luogo ad inquinanti che ledono la salute dell'uomo in modo diretto, ma è il gas che contribuisce maggiormente ad aumentare l'effetto serra e di conseguenza ad aumentare la temperatura sulla superficie terrestre.. Il cambiamento climatico che ne deriva comporta delle implicazioni estremamente significative a carico della salute dell'uomo e dell'integrità dell'ambiente. Il clima infatti influenza fortemente l'agricoltura, la disponibilità delle acque, la biodiversità, la richiesta dell'energia (ad esempio per il riscaldamento o il raffreddamento) e la stessa economia. Il progresso che si farà nella riduzione delle emissioni dei gas serra nell'immediato futuro determinerà il livello di riscaldamento globale a cui dovranno andare incontro le generazioni che verranno. Visto che il cambiamento climatico è un problema mondiale, l'approccio dovrà essere necessariamente coordinato, infatti i progressi fatti con la riduzione delle emissioni in uno Stato possono essere facilmente compromessi dall'aumento delle emissioni in un altro.

L'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) indica come necessario l'impiego di energie "pulite", o energie rinnovabili, per un futuro sistema sostenibile più pulito, affidabile, sicuro e economicamente competitivo di quello odierno. In particolare il recente e ambizioso studio IEA, "Energy Technology Perspectives (2008)", prevede che le fonti rinnovabili arrivino nel 2050 a fornire il 50% della produzione mondiale totale di elettricità, riducendo le emissioni mondiali annue di gas climalteranti del 50% e limitando l'incremento di temperatura del pianeta attorno ai 2 °C. A conclusioni analoghe è arrivato anche il Vertice annuale dei Paesi del G8, organizzato dalla Presidenza di turno italiana, si è svolto quest'anno a L'Aquila nel 2009, per dimostrare solidarietà verso la popolazione dell'Abruzzo, severamente colpita dal terremoto del 6 aprile 2009, e verso tutti coloro che nel mondo sono stati colpiti da calamità naturali.

Al Gruppo delle maggiori potenze economiche mondiali (G8): Canada, Francia, Germania, Italia, Giappone, Russia, Regno Unito e Stati Uniti, si sono affiancati i principali Paesi con economie emergenti, definiti Gruppo dei 5 (G5): Brasile, Repubblica Popolare Cinese, India, Messico e Sud Africa. Hanno partecipato al Vertice anche i Paesi fondatori della New Partnership for Africa's Development (NEPAD) e i rappresentanti dell'Unione Africana, oltre a Spagna, Turchia, Paesi Bassi ed Egitto. In rappresentanza dell'Unione Europea erano presenti José Manuel Barroso, Presidente della Commissione Europea, e Fredrik Reinfeldt, Presidente del Consiglio Europeo. Tra i temi principali discussi dai Capi di Stato e di Governo (liberalizzazione del commercio mondiale, lotta ai cambiamenti climatici, sviluppo dei Paesi poveri e dell'Africa, sicurezza alimentare, salute e accesso all'acqua e questioni politiche internazionali) la lotta ai cambiamenti climatici è stata una priorità della Presidenza italiana, che ha ribadito con forza l'impatto dei cambiamenti climatici sull'agricoltura, sulle epidemie e sugli eventi meteorologici violenti. Nel dibattito scientifico che è seguito, i Paesi del G8 hanno deciso di dimezzare le emissioni mondiali di gas a effetto serra entro il 2050 e hanno sostenuto l'obiettivo a lungo termine di un taglio dell'80% o più per i paesi industrializzati, riconoscendo il limite del surriscaldamento globale di 2° Celsius, per la prima volta con il sostegno degli Stati Uniti, ma senza l'appoggio di Cina e India, due Paesi emergenti ad alta densità demografica.



Foto tratta dal sito www.djibnet.com/photo/photomontage/global-war

Per riconvertire il pianeta “Serra” in pianeta “Terra”, l'uomo deve “far pace” col pianeta su cui vive, con [la gestione e l'uso razionale dell'energia](#) (approfondimento scientifico).

LA TERZA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

La prima Rivoluzione Industriale è stata l'età del ferro e del carbone, la seconda Rivoluzione Industriale è stata l'età dell'acciaio e dell'elettricità, la terza Rivoluzione Industriale sarà l'età delle energie rinnovabili. L'energia (approfondimento scientifico) è fondamentale per la nostra vita. Ne abbiamo bisogno per il trasporto, per il riscaldamento delle case in inverno e l'aria condizionata in estate, ma anche per far funzionare industrie, aziende agricole e uffici. L'energia prodotta finora si è basata sui combustibili (approfondimento scientifico) fossili, che sono però una risorsa limitata, oltre ad essere una delle principali cause dell'inquinamento e del riscaldamento globale. I combustibili fossili, rappresentano di gran lunga la principale fonte di energia e sono: carbone, gas naturale, petrolio e suoi derivati (benzine, gasolio, solventi, cherosene, olii lubrificanti, catrame) . Il termine fossile indica che la loro formazione è iniziata milioni di anni fa, quando i grandi sommovimenti della crosta terrestre seppellirono in profondità enormi quantità di materiale organico. Sommersi e in assenza di aria i resti vegetali si sono trasformati in carbone, e quelli animali in petrolio e gas naturale. In questo lento processo, l'energia solare impiegata in vita da piante e animali si è trasformata in energia chimica. E quando carbone, petrolio e gas vengono bruciati l'energia chimica in essi contenuta si libera trasformandosi in energia termica. I combustibili fossili, detti anche idrocarburi, perché costituiti sostanzialmente da carbonio o da carbonio e idrogeno, rappresentano oggi la principale fonte energetica dell'umanità.

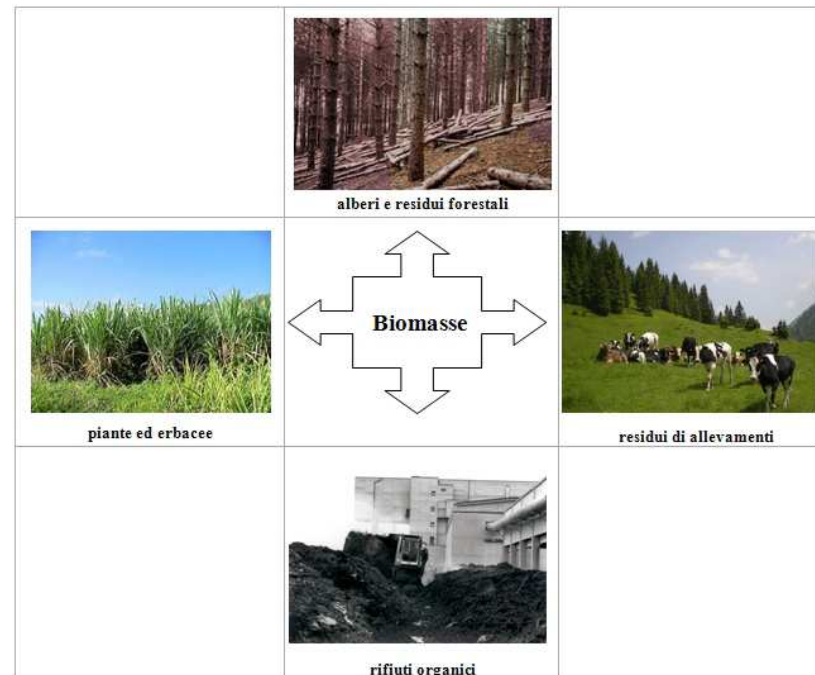
I combustibili fossili o idrocarburi presentano numerosi svantaggi:

- sono molto inquinanti
 - determinano un incremento di CO₂ in atmosfera, un gas serra non inquinante ma determinante per il surriscaldamento globale
 - non sono rinnovabili, poiché il processo di fossilizzazione della sostanza organica è molto lungo (milioni di anni); questa caratteristica, alla luce dell'esauribilità dei giacimenti attuali e a fronte di una sempre maggiore richiesta energetica a livello globale, determina continui aumenti del loro prezzo.
- Maree nere, aria malata (approfondimento scientifico), cambiamenti climatici, scioglimento dei ghiacciai, desertificazione: sono tutti segnali di allarme. Occorre pertanto pensare ad un futuro senza combustibili fossili. Dobbiamo sviluppare una politica energetica ed ambientale integrata basata su scadenze e obiettivi ben definiti per passare ad un'economia a basse emissioni di anidride carbonica e risparmiare energia. Dobbiamo compiere una Rivoluzione Verde, utilizzando energie pulite a basso impatto ambientale. Le alternative possibili esistono e sono le energie rinnovabili: energia solare, energia eolica, energia geotermica, biomassa, idrogeno.

AMBIENTE E BIODIVERSITA' [\(v. video, intervista al prof. Nascetti\)](#)

“Quando le api scompariranno dalla faccia della terra all'umanità resteranno solo quattro anni di vita”, questa frase, attribuita a torto o ragione ad A. Einstein, è molto chiara: niente più api, niente più impollinazione, niente più piante, niente più animali, niente più uomini. A riprova che la biodiversità è la nostra assicurazione per la vita. La biodiversità comprende tutte le forme di vita (specie di animali, piante, funghi, batteri), i differenti habitat in cui vivono le specie (ecosistemi come il bosco o le acque) nonché la diversità genetica all'interno delle specie (ad es. le sottospecie, le varietà e le razze). La biodiversità è la vita esistente sulla terra in tutta la sua diversità. Rappresenta quindi la base e il potenziale di tutti i processi vitali e le prestazioni degli ecosistemi sul nostro pianeta. La biodiversità è il risultato di milioni di anni di evoluzione e costituisce la premessa per uno sviluppo sano e naturale di tutti gli esseri viventi ed ecosistemi. L'ecosistema Terra ammette solo un “rapporto democratico” fra l'uomo e il suo ambiente, fra l'uomo e gli altri organismi viventi, fra gli stessi uomini: nessuno, nessuna specie può dominare in assoluto, pena il collasso del pianeta.

B come... Biomasse



BIOMASSE

Le biomasse (approfondimento scientifico) sono l'insieme di materiali d'origine vegetale, scarti da attività agricole, allevamento o industria del legno riutilizzati in apposite centrali termiche per produrre energia elettrica. Proviamo a stilare una lista delle principali materie prime energetiche da biomasse:

- legna da ardere (approfondimento scientifico)
- residui agricoli e forestali
- scarti dell'industria agroalimentare
- reflui degli allevamenti
- rifiuti urbani
- specie vegetali coltivate per lo scopo

Trarre energia dalle biomasse consente di eliminare gli scarti prodotti dalle attività agroforestali e contemporaneamente produrre energia elettrica, riducendo la dipendenza dalle fonti di natura fossile come il petrolio. Energia pulita a tutti gli effetti. La combustione delle biomasse libera nell'ambiente la quantità di carbonio assimilata dalle piante durante la loro crescita e una quantità di zolfo e di ossidi di azoto nettamente inferiore a quella rilasciata dai combustibili fossili. Le opere di riforestazione in zone semidesertiche permettono di recuperare terreni altrimenti abbandonati da destinare alla produzione di biomasse e indirettamente migliorare la qualità dell'aria che respiriamo. Le piante svolgono infatti l'importante funzione di "polmone verde" del pianeta riducendo l'inquinamento e l'anidride carbonica contenuta nell'aria. Le coltivazioni dedicate esclusivamente a produrre biomasse da destinare alla produzione elettrica non fanno eccezione a questa naturale caratteristica del mondo vegetale.

La Finlandia rappresenta l'esempio più calzante per descrivere l'importanza delle biomasse e le possibilità di utilizzo. Gran parte degli scarti della lavorazione della carta e del legno dell'industria finlandese sono trasferiti alle centrali termiche per produrre energia. Si evita così di stoccare gli scarti in discariche o pagare per il loro incenerimento. Quello che un tempo era un costo da sostenere si trasforma in un'opportunità da non perdere e da sfruttare per produrre preziosa energia elettrica. Non va comunque confuso il concetto di biomassa con quello della termodistruzione dei rifiuti. Le biomasse sono esclusivamente scarti d'origine vegetale e non rifiuti delle attività umane. Per ridurre ulteriormente l'impatto ambientale è inoltre necessario che le centrali termiche siano di piccole dimensioni e alimentate con biomasse locali, evitando in questo modo il trasporto da luoghi lontani. Attualmente i biocarburanti vengono per lo più prodotti sfruttando biomasse agricole ricche di zuccheri: per il bioetanolo, cioè l'alcool adoperato per alimentare i motori a benzina, si usano la canna e la barbabietola da zucchero, il mais, le vinacce, le piante ricche di amidi come il riso e la patata. Il biodiesel invece viene prodotto a partire da olii vegetali (e anche da grassi animali di scarto) trattati con alcool metilico, anch'esso ricavato da biomasse. A partire dalle biomasse vegetali è possibile ottenere carburante di qualità, purché si tratti di biocarburanti sostenibili dal punto di vista sociale e ambientale: biocarburanti che non sottraggano risorse alle colture alimentari. In questo senso, per fare un esempio estremo, è interessante la [jatropa, detta anche pianta del demonio](#) (curiosità). Si tratta di biocarburanti di seconda generazione, cioè ottenuti da piante non commestibili e coltivabili anche in terreni poco fertili, altrimenti non utilizzabili.

Tra le promesse più affascinanti di biocarburanti di seconda generazione, compatibili con l'ambiente e che non mettano a rischio-fame intere popolazioni, c'è quella di [alghe microscopiche](#) (curiosità) da cui estrarre carburante. Le alghe sono le piante più semplici che esistono, ma sono anche estremamente produttive: traggono energia a partire dalla CO₂ atmosferica disciolta nell'acqua e dalla luce del sole, in maniera talmente efficiente che possono raddoppiare il loro peso diverse volte in un giorno. E ci sono alghe che contengono olio per il 50% della loro massa, il che le rende adattissime alla produzione di biodiesel. Non consumano terreno e neppure acqua dolce, crescendo perfettamente in acqua salata o salmastra.

BIOCARBURANTI: INTERVISTA AL PROF. GIACOMO BRANCA

L'intervista che segue ha come oggetto i biocarburanti ed è stata rilasciata dal prof. Giacomo Branca per contribuire alla stesura di questo dizionario sull'Ambiente. Laureato a Viterbo in Scienze Agrarie nel 1994, Giacomo Branca si è specializzato in Economia agraria e delle risorse naturali conseguendo un Master in Economia e Politica Agraria (Napoli 1996), un Master of Science in Agricultural and Resource Economics (Arizona 1999), conseguendo infine il Dottorato di ricerca in Politica Agraria (Viterbo 1999). Successivamente ha lavorato per conto dell'Università, della Fao e dell'Ifad nel campo della ricerca economico-agraria e ambientale con riferimento sia ai paesi industrializzati che a quelli in transizione e in via di sviluppo, nonché nella preparazione dei progetti di sviluppo agricoli. Ha svolto inoltre attività di consulenza su temi di politica agraria, economia del settore agro-alimentare e commercio agricolo per conto sia del settore pubblico (Cefas, Inea, Ismea) che privato (Agriconsulting, Agromnia consulting, Cogea, Confagricoltura, Procom Agr, Unaprol), maturando anche esperienza di project management (VI Programma Quadro, Leonardo da Vinci, Programmi Operativi Multiregionali dell'Ue). Dal 1999 ad oggi ha svolto attività didattica sia in Italia che all'estero, ricoprendo anche il ruolo di Manager Didattico della Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia (progetto *Campus One*) dal 2003 al 2004. Dal 1997 è iscritto all'albo dei Dottori Agronomi e Forestali della Provincia di Roma e dal 2001 è membro della *SIDEA* (Società Italiana di Economia Agraria). Attualmente è docente di Economia dell'Ambiente presso la Facoltà di Economia dell'Università della Tuscia nonché consulente per la Fao nell'ambito di un progetto sui compensi per le esternalità ambientali del settore agricolo.

Si definiscono “biocarburanti” i combustibili ottenuti dalle biomasse e usati per produrre energia meccanica che sfrutta il calore derivante dalla combustione per mettere in moto diversi tipi di motori. I motori a combustione interna oggi più diffusi possono essere alimentati a biodiesel in sostituzione della benzina, ma anche a bio-metano ottenibile per raffinazione del bio-gas, in sostituzione del metano fossile.

In generale, per biomassa si intende il materiale biodegradabile dei prodotti e residui provenienti dall'agricoltura e dalla selvicoltura (e industrie connesse) nonché la parte degradabile dei rifiuti industriali e urbani. Le biomasse si possono classificare come segue:

- Biomasse di origine forestale e residui delle industrie di prima trasformazione del legno: residui provenienti dalle utilizzazioni forestali, residui della lavorazione del legno non trattato, potature del verde urbano (legna da ardere, ciocchi, scaglie, *chips*), residui dell'industria connessa alla selvicoltura (segatura, *chips*, *pellet*, mobili, pedane, cassette da imballo).
- Biomasse di origine agricola e residui delle industrie agro-alimentari: produzioni legnose (salice, pioppo, eucalipto) o erbacee (sorgo, cardo, canna), colture oleaginose (girasole, colza) e zuccherine (barbabietola e canna da zucchero, sorgo zuccherino), residui di potature e sfalci, residui delle industrie agro-alimentari (sanse).
- Biomasse da rifiuti urbani e industriali: componente biodegradabile dei rifiuti urbani e industriali (frazioni organiche dei rifiuti urbani, fanghi di depurazione delle acque reflue urbane e industriali, scarti organici e acque reflue dell'agro-industria, residui colturali, reflui degli allevamenti). Bioidrogeno, oli vegetali puri.

Le biomasse forestali si possono usare come combustibile per caldaie, sfruttando un potenziale energetico inutilizzato e rinnovabile e riducendo le emissioni di anidride carbonica. Le biomasse dai rifiuti urbani e industriali possono essere usate per la produzione di biogas, una miscela derivante dalla degradazione anaerobica delle biomasse, composta da CO₂ e metano, oltre ad altri composti minori. Si usano digestori anaerobici per la produzione di calore ed energia elettrica.

Dalla combustione delle biomasse si produce dunque energia termica che è la forma più elementare ottenibile da questo materiale di partenza. Il rendimento di tale processo non ha un'efficienza elevata perché buona parte del calore residuo viene disperso nell'atmosfera. Perciò, per questo uso, vengono impiegati i materiali non adatti ad altri usi o non ambiti da altri utilizzatori. Essi generano comunque un valore aggiunto, perché altrimenti non sarebbero sfruttati. L'energia elettrica si ottiene dall'energia termica: il calore generato mette in movimento una turbina grazie alla quale si genera energia elettrica. Le centrali termoelettriche tradizionali convertono in elettricità solo un terzo del potenziale energetico del combustibile, con evidenti ripercussioni di tipo economico e ambientale.

Tuttavia, nuove tecnologie (cogenerazione, in cui una rete di teleriscaldamento è affiancata alla rete elettrica; rigenerazione, in cui nei mesi estivi il calore non usato per il riscaldamento si usa per la produzione di freddo attraverso una rete di telecondizionamento) possono aumentarne l'efficienza sino all'80%.

I seguenti biocarburanti vengono utilizzati direttamente nei motori a combustione interna per la produzione di energia meccanica: bioetanolo, biodiesel, biogas, metanolo, biocombustibili di sintesi derivanti da biomasse, bioidrogeno, oli vegetali puri.

I seguenti biocarburanti vengono invece utilizzati direttamente nei motori a combustione interna per la produzione di energia meccanica: bioetanolo, biodiesel, biogas, metanolo, biocombustibili di sintesi derivanti da biomasse, bioidrogeno, oli vegetali puri.

Box 1: principali biocarburanti prodotti e loro uso

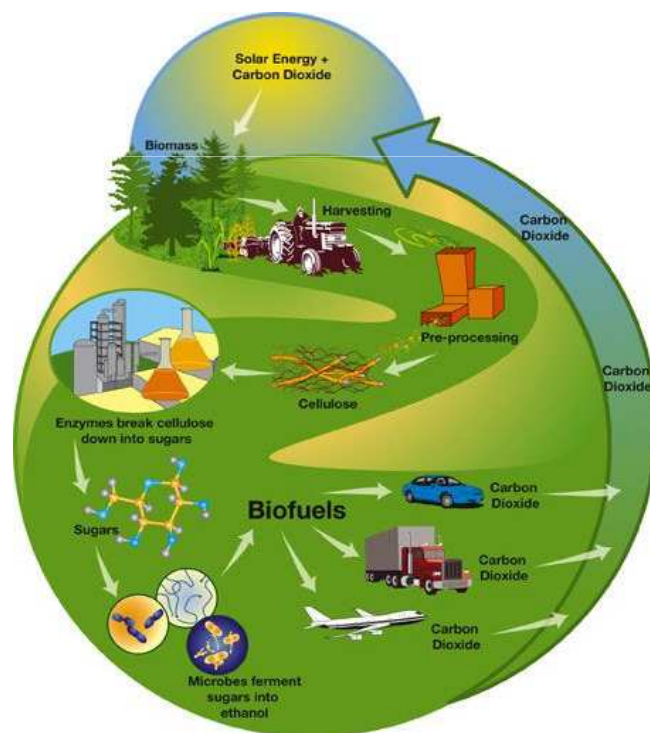
- Bioetanolo: alcool etilico dalla fermentazione e distillazione di colture zuccherine (canna zucchero, mais, frumento, barbabietola zucchero). Si usa in miscela con benzina (5% senza modifiche ai motori, 10% con modifiche ai motori). Esistono veicoli che possono essere alimentati con benzina/alcool puro o una miscela di questi due composti, in qualunque combinazione (i cosiddetti motori *flex fuel* molto diffusi in Brasile).
- Etanolo di seconda generazione (bioetanolo di origine ligno-cellulosica): ha rese specifiche elevate, ma il suo uso è ancora in via sperimentale.
- Biodiesel: estere metilico di acidi grassi di oli vegetali e/o animali. Si ottiene da oli vegetali e oli vegetali esausti, cui si aggiunge metanolo. A seguito di una reazione di esterificazione, si ottiene biodiesel e glicerina (quest'ultima utilizzabile nell'industria farmaceutica e della cosmesi). Nei motori si usa in miscela con gasolio (fino al 30-40% senza dover apportare modifiche ai motori) o puro (i motori diesel più vecchi necessitano di modifiche a guarnizioni e al circuito di iniezione).
- Biometano: si ottiene per digestione anaerobica di residui industriali, rifiuti solidi urbani, residui delle aziende zootecniche, reflui degli impianti di depurazione (si ottengono anche concimi come sottoprodotto). Si può usare puro come combustibile per autotrazione.
- Gas di gasogeno (*syngas*): miscela di gas (ossido di carbonio e idrogeno) ottenuta per gassificazione di materiali carboniosi solidi di varia natura (da carbone di legna e torba). Promettente per l'uso delle batterie a combustibile (*fuel-cell*).
- Oli vegetali puri: da semi di colture oleaginose, filtrato, si può usare nei motori diesel con qualche modifica (è un olio meno viscoso rispetto al diesel).

L'uso dei biocarburanti è giustificato soprattutto dal punto di vista ambientale, dato che, allo stato attuale della tecnologia, non esiste una convenienza economica alla loro produzione (ad eccezione dell'etanolo in Brasile). I vantaggi ambientali derivanti dall'uso dei biocarburanti possono essere riassunti nei seguenti punti:

- assorbimento dei gas ad effetto serra (GHG, Greenhouse Gas)¹² da parte delle piante (sia nella pianta che nel suolo attraverso le radici), durante il ciclo di crescita delle colture;
- produzione, oltre ai biocarburanti, di sottoprodotti come proteine per l'alimentazione animale (da produrre altrimenti con dispendio di energia);
- potenziale riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) rispetto ai combustibili fossili.

GHG sono un complesso di 6 gas: anidride carbonica, metano, protossido di azoto, fluorocarburi idrati, perfluorocarburi, esafluoruro di zolfo.

Figura 1: produzione e uso di biocarburanti e ciclo del carbonio



¹²GHG sono un complesso di 6 gas: anidride carbonica, metano, protossido di azoto, fluorocarburi idrati, perfluorocarburi, esafluoruro di zolfo.

Per calcolare il contributo effettivo dei biocarburanti alla riduzione dell'effetto serra, però, si richiede la stima dei bilanci energetici dell'intera filiera, poiché la produzione di etanolo e biodiesel utilizza input combustibili in varie fasi del processo produttivo. Dal confronto in termini di contenuto energetico dei vari combustibili viene valutato il risparmio netto in termini di energia fossile, cui segue il calcolo del bilancio in termini di emissioni. Poiché le emissioni possono ridursi con molteplici strategie, la valutazione finale va effettuata in termini di efficienza sulla base dei costi di abbattimento delle stesse. Pertanto, una politica nazionale o comunitaria a favore dei biocombustibili sarebbe giustificata solo qualora il risparmio di combustibile fossile e la riduzione delle emissioni avvengano ad un costo inferiore o al massimo uguale rispetto ad altri strumenti (e ad altre fonti energetiche). Per il calcolo dei bilanci energetici – e la derivazione di specifici indicatori (box 2) – occorre considerare l'intero ciclo di produzione dei biocombustibili e confrontarlo con quello della benzina pura:

- produzione/raccolta materia prima in azienda;
- trasporto all'impianto trasformazione;
- distribuzione alle pompe;
- miscelazione con benzina/gasolio.

Box 2: principali indicatori utilizzati nel calcolo dei bilanci energetici

Net Energy Ratio (NER) = e_{bc}/e_{cf} (contenuto energetico biocombustibile/contenuto energetico del combustibile fossile necessario per produrlo).

- NER<1: resa energetica del biocombustibile inferiore all'energia impiegata per ottenerlo, non esiste convenienza energetica alla produzione del biocombustibile;

- NER>1: esiste convenienza energetica alla produzione del biocombustibile.

Net Energy Value (NEV) = $e_{bc} - e_{cf}$ (contenuto energetico biocombustibile - contenuto energetico del combustibile fossile necessario per produrlo).

- NEV<0: resa energetica del biocombustibile inferiore all'energia impiegata per ottenerlo, non esiste convenienza energetica alla produzione del biocombustibile;

- NEV>0: esiste convenienza energetica alla produzione del biocombustibile.

Esistono molti studi nella letteratura specializzata volti a calcolare i bilanci energetici relativi alla produzione di biocarburanti (soprattutto mais per la produzione di etanolo negli USA e frumento/barbabietola per la produzione di etanolo nell'Ue). I risultati mostrano che, allo stato attuale delle tecnologie impiegate, il risparmio energetico realizzato con la sostituzione del combustibile fossile con il biocarburanti è piuttosto contenuto, per i seguenti motivi:

- il valore energetico dei biocarburanti è inferiore a quello del combustibile fossile (es. 32,8 MJ/l biodiesel < 35,7 diesel; bioetanolo 23,6 < 36,1 benzina). Quindi, a parità di prestazione energetica occorre più biocarburante;
- la produzione della materia prima richiede un notevole uso di energia fossile (meccanizzazione e produzione di pesticidi/fertilizzanti usati nell'attività agricola);
- il processo di trasformazione (soprattutto biodiesel) causa un notevole dispendio d energia.

Tuttavia, per l'etanolo si registrano bilanci positivi e crescenti nel tempo per effetto del progresso tecnico, anche se vi sono elementi di incertezza legati soprattutto all'aspetto dei sottoprodotti. Analogo discorso vale per il biodiesel ottenuto dal colza.

Per derivare i dati relativi alle emissioni di gas serra (GHG) derivanti dall'uso dei biocarburanti si calcolano le emissioni totali, ovvero quelle derivanti sia dalla produzione che dall'uso dei biocarburanti. Successivamente, si procede al confronto con le emissioni derivanti dalle altre tecnologie e dai combustibili fossili. A tal fine si segue il cosiddetto approccio "well-to-wheel" (WTW), ovvero la misurazione delle emissioni aggregate nette in tutta la catena produzione/consumo (box 3).

Box 3: approccio "well-to-wheel" (WTW) per il calcolo delle emissioni di gas serra

L'approccio WTW prevede la misurazione delle emissioni aggregate nette in tutta la catena produzione/consumo:
Valutazione Well-To-Tank (WTT), che contabilizza il consumo di energia e le emissioni associate fino al rifornimento di un veicolo;
Valutazione Tank-To-Wheel (TTW), che contabilizza il consumo di energia e le emissioni di una data combinazione carburante/veicolo.

Nonostante l'incertezza dei risultati (a causa delle molteplici assunzioni alla base dei calcoli, le metodologie usate, i fattori di contesto), sia il bioetanolo che il biodiesel registrano una riduzione delle emissioni del 20-50% rispetto ai combustibili fossili: si registra una riduzione delle emissioni nette di anidride carbonica, ossido di zolfo e monossido di carbonio, anche se sono accompagnate da un aumento delle emissioni di ossido di azoto che però ha un effetto importante sull'effetto serra. Inoltre, un possibile miglioramento delle rese agricole e l'introduzione di nuove tecnologie nella fase di trasformazione lasciano prevedere una maggiore efficienza energetica in futuro. Oltre a ciò, è opportuno menzionare i cambiamenti nell'allocazione della terra e nelle pratiche agricole utilizzate per:

- aumento della domanda di prodotti agricoli e intensificazione dei processi produttivi;
- incentivazione alla trasformazione delle aree coltivate in modo estensivo verso superfici a seminativi per la produzione di materia prima bioenergetica (intensificazione agricola delle aree esistenti e conversione di aree destinate ad altre colture);
- scelte produttive inappropriate per un determinato contesto territoriale.

Tali cambiamenti nelle attività agricole possono determinare importanti effetti su suolo, acqua e biodiversità che si aggiungono agli effetti in termini di emissioni:

- Effetti sui suoli: il cambio di destinazione d'uso dei suoli e intensificazione delle produzioni agricole possono avere effetti negativi variabili a seconda delle pratiche agricole stesse. In particolare, potrebbe verificarsi una riduzione del contenuto in sostanza organica dei suoli, una perdita del carbonio immagazzinato nel terreno (*soil carbon*) con conseguente aumento delle emissioni di GHG, fenomeni di erosione dei suoli e di compattazione terreni.
- Effetti sulla quantità delle acque: la diffusione delle colture bioenergetiche potrebbe determinare un aumento della domanda di acqua a scopo irriguo (la scarsità di acqua prima ancora che di terra potrebbe limitare l'espansione stessa delle colture bioenergetiche). Oggi circa 70% dell'acqua è usata in agricoltura e si registra una crescente competizione tra usi agricoli e industriali/urbani. Inoltre, il processo di trasformazione della materia prima in biocarburanti richiede un notevole uso di acqua.
- Effetti sulla qualità delle acque: l'intensificazione colturale legata all'espansione delle colture bioenergetiche e alle maggiori rese colturali cercate potrebbe creare problemi in termini di erosione e trasporto di nutrienti nelle acque di superficie (con aumento del rischio di eutrofizzazione dei corsi d'acqua) e accelerare la lisciviazione dei nutrienti e pesticidi nelle acque di falda.
- Effetti sulla biodiversità: la conversione di ecosistemi naturali, di aree ad agricoltura estensiva e delle foreste a colture bioenergetiche può causare perdita di biodiversità e riduzione della biodiversità agricola (riduzione variabilità genetica, perdita varietà autoctone, erosione genetica, effetti negativi sulla biodiversità animale e vegetale a causa dell'uso intensivo di pesticidi/fertilizzanti).

Quindi, la produzione di biocarburanti dovrebbe determinare un beneficio per l'ambiente (riduzione dei gas GHG) ma potrebbe anche causare esternalità negative legate al processo di intensificazione colturale. Inoltre, se le colture bioenergetiche sostituiscono le foreste, andrebbe calcolato nel bilancio di GHG l'effetto negativo determinato dalla perdita dell'effetto di sequestro del carbonio da parte della foresta stessa.

La risposta a queste considerazioni sugli effetti ambientali dell'espansione delle colture bioenergetiche è sostanzialmente di due tipi:

- nel breve periodo, le politiche finalizzate a ridurre le esternalità negative dell'agricoltura sull'ambiente (es. pratiche conservative dei suoli, attività agricole a basso impatto ambientale) possono influire positivamente sulla riduzione delle emissioni GHG e sulle esternalità negative dell'attività agricola;
- nel lungo periodo, invece, si punta sulle possibilità offerte dalla coltivazione delle colture lignocellulosiche di seconda generazione che consentirebbero di avere migliori risultati in termini energetici, di emissioni, e di esternalità (oltre che sul piano dei costi).

E come... Eolico

L'energia eolica (approfondimento scientifico) è l'energia posseduta dal vento. L'uomo ha impiegato la forza del vento sin dall'antichità, per navigare, per pompare l'acqua e per muovere le pale dei mulini utilizzati per macinare i cereali o per spremere olive. Solo da pochi decenni l'energia eolica viene impiegata per produrre elettricità. I moderni mulini a vento sono chiamati aerogeneratori. (fig.1)

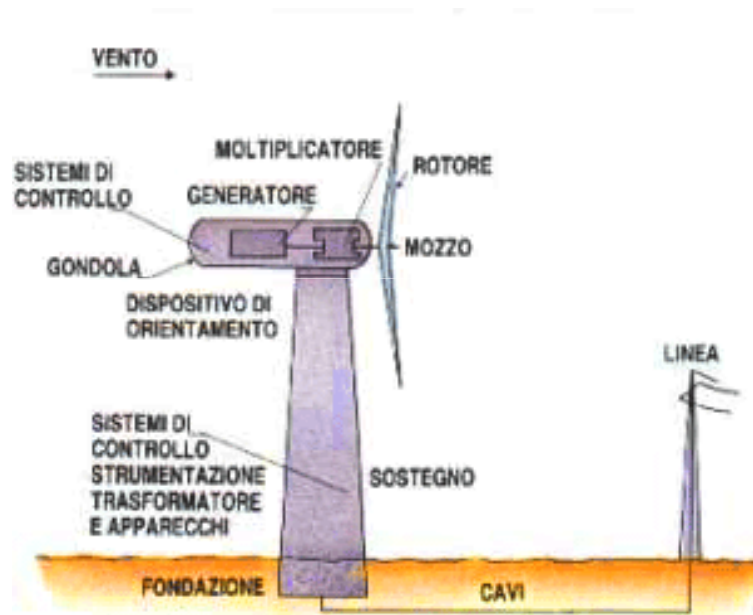


Figura 1. aerogeneratori

Il principio di funzionamento degli aerogeneratori è lo stesso dei mulini a vento: il vento che spinge le pale. Ma nel caso degli aerogeneratori il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso ad un generatore che produce elettricità.

Gli Aerogeneratori

Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensione. Possono, infatti, avere una, due o tre pale di varie lunghezze. Gli aerogeneratori possono essere di piccola taglia (con potenza compresa tra 1 a 20 kW), media taglia (con potenza compresa tra 100 e 800 kW) e grande taglia (con potenza superiore a 800 kW).

TAGLIA PICCOLA

Gli impianti mini eolici, o di piccola taglia, sono impianti con potenza compresa tra 1 a 20 kW. Il cuore del microeolico sono i microgeneratori eolici (approfondimento scientifico) che sono torri eoliche di dimensioni contenute.

Tali apparati si suddividono in:

- Impianti connessi in rete con scambio sul posto per monetizzare l'energia elettrica prodotta (in Italia, con i decreti attuativi della finanziaria del 2007, è stata confermata per il mini eolico la tariffa onnicomprensiva di 0,30 di euro per ogni kW di energia elettrica immessa in rete)
- Impianti in isola, che utilizzano l'energia prodotta.

Caratteristica essenziale per un sito in cui si vuole installare un microgeneratore è la presenza di vento costante. Naturalmente oltre la costanza ha importanza anche la forza del vento. Altro fattore di valutazione è la geografia del posto e la presenza di eventuali ostacoli che possano schermare il vento.

I microgeneratori eolici sono impianti mini eolici, che utilizzano il vento per produrre energia elettrica. Questi impianti assumono il suffisso “mini” (mini pale o mini impianti) per differenziarli dagli impianti di grandi dimensioni che costituiscono le centrali eoliche. Sono caratterizzati dall'avere rotori di piccolissime dimensioni (diametro inferiore al metro) e da una grande semplicità di installazione. Possono essere posizionali in qualunque posto: dal terrazzo al balcone o al giardino di casa, dalla barca al camper. Una loro fondamentale caratteristica è che possono utilizzare anche venti dotati di velocità estremamente basse dell'ordine dei due metri al secondo.



Aerogeneratore taglia piccola

TAGLIA MEDIA

Gli aerogeneratori di taglia media hanno una potenza compresa tra 100 e 800 Kw. Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind-farm, “fattorie del vento”, che sono delle vere centrali elettriche. Nelle wind-farm la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare cadute di produzione. Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale. Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa installarne uno ogni 200 metri circa. Una fattoria del vento costituita, ad esempio, da 30 aerogeneratori da 300 kW l'uno in una zona con venti dalla velocità di 25 km/h, può produrre 20 milioni di kWh all'anno, vale a dire quanto basterebbe a soddisfare le esigenze di circa 7000 famiglie. Per raggiungere lo stesso risultato con una centrale a carbone si libererebbero nell'aria 22 mila tonnellate di anidride carbonica, 125 tonnellate di anidride solforosa e 43 tonnellate di ossido di azoto.

Quando le wind-farm sono costruite in mare prendono il nome di impianti off-shore e rappresentano un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare.



TAGLIA GRANDE

Gli aerogeneratori di taglia grande hanno una potenza compresa tra **800 - 2500 kW**, il diametro del rotore di 55 - 70 metri e l'altezza del mozzo di 60 - 80 metri.

La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti off-shore è in pieno sviluppo: a livello commerciale esistono macchine da 1 MW ed esistono prototipi da 3 MW.

Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri.

Come nel caso di *Beatrice*, una titanica turbina eolica installata nelle acque del Mare del Nord flagellate dai venti, a circa 25 chilometri dalla costa nord-orientale della Scozia. *Beatrice* (curiosità) è alta 230 metri (quanto un grattacielo di 75 piani). Le sue pale sono lunghe più di 61 metri e pesano 17,5 tonnellate ciascuna. La torre che supporta le pale è di 59 metri ed è incastrata in una struttura di sostegno in lattice e acciaio di 70 metri, ancorata sul fondo marino a 45 metri di profondità.

Intanto dalla Norvegia è in arrivo il prototipo di una mega turbina off-shore da 10 MW (curiosità): un impianto galleggiante con pale da 145 metri di diametro.



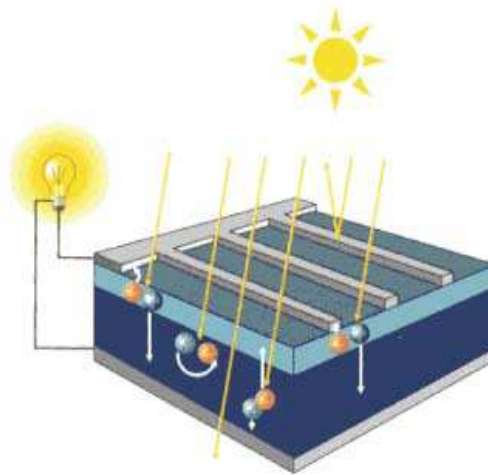
Legambiente soffia vento

Legambiente soffia vento nelle vele dell'energia eolica, sottolineandone il deciso incremento negli ultimi anni ma anche denunciando resistenze e lacune normative. L'associazione ambientalista nel 2010 ha affrontato il tema nell'ambito di un convegno, intitolato *“Il vento fa bene all'Italia”* e svolto a Roma assieme all'Anev (Associazione Nazionale Energia del Vento), associazione di categoria che raggruppa gli operatori del settore. Il tema delle energie rinnovabili è tornato quanto mai d'attualità proprio in questi giorni, in cui il presidente degli Stati Uniti, Barack Obama, ha sancito il ritorno del suo Paese al nucleare dopo decenni di stasi. Anche l'Italia ha recentemente compiuto passi ufficiali per riprendere il cammino nel nucleare ma l'oggettiva situazione dei due Paesi è molto diversa. Gli ambientalisti - da sempre contrari al ritorno delle centrali atomiche bandite con un referendum oltre vent'anni fa - puntano decisamente sull'incremento delle fonti rinnovabili, facendo proprio il programma dell'Unione europea, che incita i Paesi aderenti a un deciso incremento di queste forme di produzione energetica entro la data-simbolo del 2020, con un contributo delle rinnovabili al totale dell'energia prodotta pari al 17%. Partito in ritardo rispetto ai partner europei, l'eolico italiano sta facendo passi da gigante per mettersi al pari con i migliori. Secondo i dati citati durante il convegno, l'Italia conta oggi su oltre 5mila Megawatt (MW) di energia prodotta dal vento, pari a circa il 2,1% dell'intero consumo lordo. Il settore fornisce un'occupazione stabile a oltre 2.500 addetti ma ha di fronte a sé un ampio margine di crescita. Secondo Legambiente, giungere a 10mila MW entro il 2020 non è solo possibile ma anche auspicabile. Sia costruendo nuovi impianti, magari in mezzo al mare - come già accade in alcuni Paesi - sia potenziando quelli esistenti. Tutto da esplorare è poi il settore emergente dei microimpianti per uso domestico. In Europa nel solo 2009 sono stati installati nuovi impianti per oltre 10mila MW, quasi duemila dei quali nella sola Germania, Paese ai vertici del settore con oltre 25mila MW totali installati. Subito dopo viene la Spagna, che ha investito moltissimo nelle energie rinnovabili in questi ultimi anni, trovandosi oggi - con oltre 19mila MW installati, 2.459 dei quali installati nel 2009 - a tallonare i tedeschi in questa speciale classifica. In Francia, dove la maggior parte del fabbisogno energetico è coperto dall'energia prodotta nelle centrali nucleari, l'eolico non raggiunge invece i 4.500 MW installati (1.088 nell'ultimo anno); poco di più del Regno Unito, dove i megawatt installati sono poco oltre i 4mila, 1.077 dei quali ottenuti nel 2009. La situazione non si presenta dunque univoca, ma il *“Global Wind Energy Association”* (organismo internazionale di cui fa parte anche l'Anev) ha stimato che nel 2009 il potenziale eolico mondiale è cresciuto di ben il 31%. In cima alla lista dei Paesi produttori - dopo gli Usa - troviamo due giganti come Cina e India, Paesi letteralmente affamati di energia che evidentemente non disdegnano quella gratuita ma incostante fornita da monsoni e alisei.

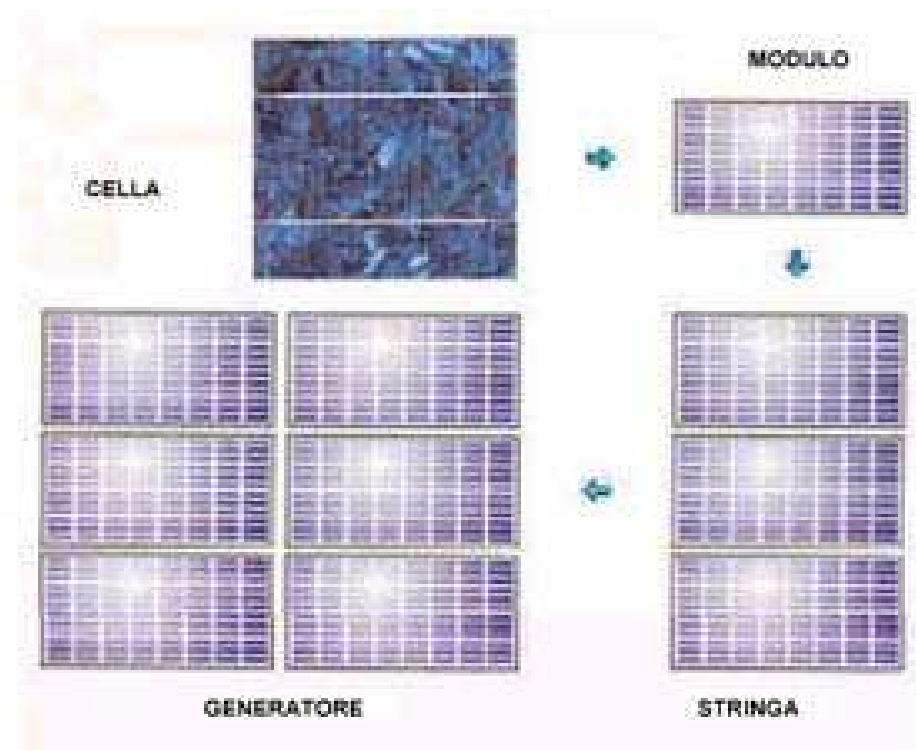
F come... Fotovoltaico (FV)

Il termine fotovoltaico significa “luce-elettricità”, infatti è composto da *phos*, in greco “luce”, e *voltaico*, dal nome dello scienziato italiano Alessandro Volta, che fu tra i primi a studiare i fenomeni elettrici.

Il solare fotovoltaico è la tecnologia che consente di trasformare l'energia luminosa del sole in energia elettrica: con la tecnologia fotovoltaica la radiazione solare viene convertita direttamente in energia elettrica. Elemento base del generatore fotovoltaico è la cella fotovoltaica. Il dispositivo base è "la cella fotovoltaica": una lastra di materiale semiconduttore (generalmente silicio) che, opportunamente trattata, genera una differenza di potenziale tra la superficie superiore (-) e quella inferiore (+). La radiazione solare incidente sulla cella è in grado di mettere in movimento gli elettroni interni al materiale, i quali si spostano dalla superficie negativa a quella positiva, generando una corrente continua.



La più piccola unità elementare di cui si compone un generatore fotovoltaico è dunque la cella. Più celle connesse elettricamente tra loro formano il modulo fotovoltaico. Più moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie compongono una stringa (in inglese, string). Più stringhe formano il Generatore Fotovoltaico.



Il quadro di campo raccoglie l'energia elettrica prodotta dai moduli per condurla all'inverter, che converte la corrente continua in corrente alternata.

La prima ambiziosa applicazione delle celle fotovoltaiche si ebbe nel satellite Vanguard I (1958), il primo veicolo orbitante ad essere alimentato dall'energia solare. Le sue celle al silicio gli fornirono energia per quasi un decennio, finché venne disattivato. Un successo tale che le celle fotovoltaiche divennero parte integrante di ogni progetto spaziale.

Oggi il [solare fotovoltaico](#) (approfondimento scientifico) è una realtà consolidata e un esercito di moduli è pronto a rispondere a tutte le esigenze con impianti di piccola, media e grande taglia.

TAGLIA PICCOLA

Impianti fotovoltaici di piccola taglia possono essere considerati gli impianti installati sui tetti di singole case, o impianti che coprono un fabbisogno energetico circoscritto: pompe fotovoltaiche (curiosità) per estrarre l'acqua dai pozzi, auto elettriche, imbarcazioni a energia ecologica, insegne luminose, alberi fotovoltaici (curiosità). Quanto agli impianti fotovoltaici delle case, non sempre è necessario coprire ampie superfici con pannelli fotovoltaici: per una famiglia media sono sufficienti circa 20 metri quadri, infatti la superficie necessaria per erogare un chilowatt di potenza è solitamente compresa tra 7 e 10 metri quadrati. Ricordiamo che più moduli fotovoltaici collegati in serie costituiscono una stringa, più stringhe collegate in parallelo formano il campo fotovoltaico, che, unitamente ai cavi, agli interruttori, all'invertitore e alle batterie (ove presenti) costituisce l'impianto fotovoltaico. Un impianto fotovoltaico può essere autonomo (in inglese stand alone) oppure collegato alla rete elettrica (grid connected). Se l'impianto è autonomo, l'energia prodotta dai pannelli viene accumulata nelle batterie e da queste viene prelevata per essere utilizzata come corrente continua oppure come corrente alternata.

Una famiglia che realizzi un impianto fotovoltaico (ad esempio sul proprio tetto) ha i seguenti vantaggi:

- risparmia sulla bolletta, perché consuma l'energia che produce
- contribuisce a diminuire l'emissione di gas serra in atmosfera. Infatti anche un piccolo impianto fotovoltaico domestico, nell'arco di venti o trent'anni, evita l'emissione di molte tonnellate di anidride carbonica.

Se invece l'impianto è collegato alla rete, il sistema non ha batterie di accumulo: i cavi provenienti dai pannelli convergono all'invertitore, che è collegato direttamente alla rete elettrica. In questo modo, se non si ha necessità di utilizzare energia elettrica, questa si riversa nella rete e costituisce un credito energetico.

I pannelli fotovoltaici possono essere installati sul tetto o su altre architetture delle case o a terra (dove ci sia il necessario spazio esterno). In genere il semiconduttore utilizzato è il silicio, ma si possono utilizzare anche moduli CIS, che utilizzano non il silicio ma una pellicola sottilissima (3-4 micron) di una lega di rame, indio e selenio.

E se si vuole una fonte alternativa di energia senza ricorrere ai moduli fotovoltaici tradizionali, c'è anche il gel fotovoltaico, che consente di trasformare qualunque vetro della propria casa in un pannello fotovoltaico. Il gel fotovoltaico è un gel trasparente amorfo, capace di trasformare i raggi solari in energia: applicandone un sottile strato alle finestre, si hanno finestre fotovoltaiche. Oltre alla versione gel, esiste la versione spray più liquida: il gel va iniettato all'interno dei doppi vetri, mentre lo spray può essere spruzzato su un vetro singolo. All'interno del gel viene innescata una struttura cristallina di silicio (il silicio, dopo l'ossigeno, è l'elemento più copioso sulla terra, in quanto si trova in sabbia, quarzo, argilla, granito). Il silicio, bombardato dai fotoni, ovvero le particelle che compongono i raggi del sole, provoca energia cinetica, e questa energia a sua volta può essere trasformata in elettricità.

Il gel fotovoltaico non inquina e non è tossico. I suoi usi sono svariati: si può applicare sui vetri di abitazioni, edifici, aziende, luoghi pubblici, ma, essendo trasparente, anche su automobili. Il funzionamento dell'impianto del gel fotovoltaico si adegua a quello dell'impianto tradizionale. Sullo sviluppo del fotovoltaico nel mondo emergono previsioni incoraggianti dal quinto rapporto di Greenpeace e EPIA (European Photovoltaic Industry Association, *curiosità*). Carta vincente degli impianti fotovoltaici è sicuramente la possibilità di essere installati anche in assenza di una rete elettrica: questo significa avere energia elettrica anche in zone remote e povere, con un'utilizzazione esponenzialmente infinita, come nel caso del "fotovoltaico che disseta", in particolare della prima pompa fotovoltaica, messa in funzione nel 1977 in Mali, con la quale si poté azionare il primo pozzo per dissetare gli abitanti del luogo. Ma l'assenza di una rete elettrica può essere dovuta anche a calamità naturali, come uragani o terremoti: anche in questi casi il fotovoltaico può dare una mano. E' il caso del devastante terremoto che ha colpito Haiti nel 2010: una società americana ha inviato ai terremotati lampioni solari alimentati da pannelli fotovoltaici in grado di illuminare strade e strutture di assistenza installazioni di pronto soccorso e strutture di assistenza in situazioni di mancanza di energia elettrica dalla rete. In circostanze così drammatiche la disponibilità di illuminazione rende possibile prestare i soccorsi con continuità anche nelle ore notturne e far funzionare le strutture sanitarie 24 ore su 24, ma anche diminuire furti e saccheggi. I lampioni, della serie "Tropical". Si tratta, come dice il nome stesso, di sistemi di illuminazione appositamente progettati per paesi tropicali, possono resistere infatti a situazioni meteo estreme come i forti venti degli uragani, sono a prova di corrosione, facili da installare (in meno di un'ora) e difficili da manomettere o trafugare. Sono dotate di lampade a LED per avere il massimo di luminosità con il minimo di consumo e sono dotate di batterie ricaricabili per immagazzinare l'energia durante le ore di insolazione ed erogarla quando si fa buio o nelle giornate senza sole (hanno autonomia fino a cinque notti consecutive). Lampioni dello stesso tipo, facili da installare (in meno di un'ora) e capaci di resistere a situazioni meteo estreme, sono stati utilizzati con successo in occasione degli uragani Katrina e Rita.

TAGLIA MEDIA

Impianti fotovoltaici di taglia media possono essere considerati gli impianti installati su condomini, grattacieli, singole fabbriche, centri commerciali, aerei, navi.

Anche per le taglie medie, come per le piccole, l'installazione può essere o integrata architettonicamente o a terra. La struttura dei moduli può essere fissa o mobile. La struttura mobile utilizza l'inseguitore, che si comporta come i girasoli: segue il sole dall'alba al tramonto. L'inseguimento del sole consente un guadagno giornaliero energetico almeno del 25% rispetto ai moduli su struttura fissa. La struttura mobile può essere installata su qualsiasi superficie, piana o inclinata, a terra o su coperture di edifici. L'inseguimento del sole avviene tramite una centralina elettronica che regola la posizione dei moduli sulla base dell'irraggiamento solare captato tramite sensori solari. L'inseguitore non è tempo-dipendente, quindi ottimizza l'energia del sole anche in condizioni critiche di cielo coperto e di ombreggiamento del campo fotovoltaico.

Tra gli esempi di edilizia sostenibile che utilizza il fotovoltaico, c'è il tetto fotovoltaico dell'azienda di stagionatura del Parmigiano Reggiano in Emilia Romagna: l'impianto, installato nel 2009, è formato da 672 moduli solari e copre una superficie di 2900 metri quadrati. La potenza è di oltre 100 kWh, per una produzione annua di 100.000 kWh.

In una direzione più ecologica, per abbandonare per sempre il petrolio, si muovono anche alcuni progetti di eco-edilizia che hanno dell'incredibile e che affiancano l'energia del fotovoltaico, con altre energie verdi. Madrina di due progetti spettacolari è Milano, che propone [grattacieli fotovoltaici](#) (curiosità) e [boschi verticali](#) (curiosità).

TAGLIA GRANDE

Impianti fotovoltaici di taglia grande possono essere considerati le centrali fotovoltaiche, capaci di generare i volumi che servono per lo sviluppo industriale, a tutto vantaggio della tutela dell'ambiente. Un esempio di taglia grande è l'impianto fotovoltaico più grande del Nord America: ben 70.000 inseguitori solari su una superficie di 60 ettari. Si trova alla base dell'Air Force, la celebre base aeronautica di Nellis, in Nevada. L'installazione da 15 MW, avvenuta nel 2007, consente di coprire un quarto del fabbisogno energetico della base, con un risparmio di 1 milione di dollari all'anno sulla bolletta energetica della base. Quanto al beneficio ambientale, si eviteranno 24.000 tonnellate di anidride carbonica ogni anno. L'impianto conferma la vocazione ambientalista degli USA, che promuove molte iniziative virtuose, che vanno alla riduzione dei gas serra al "going green" dell'esercito. Ad oggi, le centrali fotovoltaiche producono alcune decine di MW e sono installate nei paesi industrializzati, ma se installati in aree desertiche, i maxi impianti potrebbero portare energia dove questa oggi manca e soddisfare una parte del fabbisogno elettrico dei paesi industrializzati. Molti ritengono che la diffusione di centrali fotovoltaiche sia da incrementare in quelle zone dove l'irraggiamento solare e il deserto costituiscono potenti alleati del fotovoltaico. A riguardo, uno studio sui VLSPV (Very Large Scale PV) della IEA (International Energy Agency), nota come le fasce di territorio con più forte radiazione solare spesso coincidono con vastissime aree desertiche, come il Sahara, il Gobi, i deserti americani e australiani: un terzo della superficie terrestre consiste in deserti con clima secco, dove è presente una radiazione solare molto forte, fino a tre volte superiore a quella presente nell'Europa centrale. Basterebbe costruire centrali fv che coprano solo il 4% delle superfici desertiche del pianeta per produrre una quantità di energia pari a quella consumata oggi nel mondo. Lo studio IEA propone di realizzare centrali modulari a partire da 10 MW su terreni abbandonati, marginali, desertici o aridi, non utilizzabili per usi agricoli, dove esiste una forte insolazione e poi aggregarli per raggiungere potenze intorno di 1 o più Gigawatt: da qui la definizione di impianti VLSPV. Impianti di grande e grandissima taglia già oggi sono in esercizio nei Paesi industrializzati e con una potenza di decine di MW, mentre nel mondo aumentano progetti e iniziative di impianti fotovoltaici di grandissima taglia, come nel caso di Spagna, Arizona e soprattutto [Cina](#) (*curiosità*).

Guardando a progetti ancora più avveniristici, si comprende come l'evoluzione dell'energia sia appena cominciata. Infatti il Giappone sta programmando l'installazione di un grande impianto fotovoltaico nello spazio che produrrà energia elettrica e la trasmetterà sulla Terra senza fili. Entro il 2040 quasi 300.000 abitazioni giapponesi potrebbero utilizzare la prima corrente elettrica prodotta nello spazio: secondo quanto riportato dall'agenzia di stampa Bloomberg il colosso dell'elettronica Mitsubishi e IHI Corp si sarebbero associate in un progetto da oltre 30 miliardi di euro finalizzato a costruire un gigantesco impianto fotovoltaico orbitante. La centrale avrà circa 4 km quadrati di pannelli solari che produrranno 1 GW di corrente. Verrà installata a 36.000 km di altezza e invierà l'energia sulla Terra senza bisogno di cavi, grazie ad una nuova tecnologia a microonde. Già nel 2015 il Governo del Sol Levante e l'Agenzia Spaziale Giapponese hanno in programma di lanciare un satellite con alcuni pannelli solari allo scopo di testare la trasmissione senza fili di energia dalla ionosfera alla Terra.

I come... Idrogeno



LA “SVOLTA” IDROGENO

L'interesse per l'impiego dell'idrogeno come combustibile deriva dal fatto che l'inquinamento prodotto è quasi nullo; infatti, è un gas che brucia nell'aria secondo la semplice reazione: idrogeno più ossigeno uguale acqua e calore, dando quindi come unico prodotto di reazione acqua pura. L'idrogeno è indicato da molti come il combustibile del futuro, in grado di affiancarsi al petrolio e ai suoi derivati nel corso dei prossimi decenni e di arrivare a proporsi come sostitutivo durante il secolo in corso. L'idrogeno (H_2) (approfondimento scientifico), l'elemento più leggero e abbondante dell'universo, è assai raro sulla Terra allo stato elementare a causa della sua estrema volatilità (si trova, ad esempio, nelle emanazioni vulcaniche, nelle sorgenti petrolifere, nelle fumarole) ma viceversa è molto diffuso sotto forma di composti (acqua, idrocarburi, sostanze minerali, organismi animali e vegetali) e può quindi essere prodotto sia da fonti fossili, sia da fonti rinnovabili, sia da fonte nucleare: per ricavarlo da tali sostanze vi è bisogno di energia elettrica. Il ciclo energetico dell'idrogeno è veramente "pulito" e totalmente compatibile con l'ambiente soltanto quando la sua produzione avviene grazie all'utilizzo di Energie Rinnovabili.

DALL'ACQUA ALL'ACQUA

Per quanto riguarda la produzione di idrogeno dall' acqua (elettrolisi) i processi proposti hanno raggiunto la maturità industriale. L'idrogeno prodotto dall'acqua segue la formula “dall'acqua all'acqua” e si ottiene scindendo la stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno) attraverso diversi processi, tra i quali quello più consolidato è l'elettrolisi. Schematicamente questa è rappresentata dalla seguente reazione: acqua più energia elettrica uguale idrogeno più ossigeno. Come prodotto finale di scarto si genera una quantità di acqua pura pressappoco uguale a quella di partenza, chiudendo in tal modo il ciclo senza emissioni inquinanti. L'intero processo di produzione e consumo è ambientalmente sostenibile purché sia disponibile una corrispondente quantità di energia elettrica pulita in grado di alimentare il processo di elettrolisi. È immediato pensare al sole come sorgente di questa energia, sfruttabile attraverso l'utilizzo di impianti di conversione fotovoltaica, la cui tecnologia già oggi può essere considerata tecnicamente affidabile e adeguata, anche se non ancora competitiva.

Infatti, mediante l'uso di energia solare fotovoltaica si può produrre idrogeno elettrolitico e ossigeno che poi possono essere fatti ricombinare nelle celle a combustibile per produrre l'energia elettrica di cui abbiamo bisogno. Infine, è evidente che le grandi distese oceaniche altro non sono che enormi riserve di idrogeno: ogni kg di acqua pura contiene 111 g di idrogeno che, una volta bruciato, potrebbe produrre 3.200 chilocalorie di energia termica. Pertanto dall'acqua, in linea di principio, sarebbe possibile estrarre tutto l'idrogeno necessario a soddisfare in modo pulito le esigenze energetiche dell'umanità. Fonti Rinnovabili e Idrogeno, quindi, delineano uno scenario energetico veramente eco-compatibile e particolarmente attraente. In questo scenario l'Italia può avere un ruolo di assoluta avanguardia in termini di risorse energetiche primarie, conoscenze scientifiche e capacità tecnologiche, come dimostra il [colosso a idrogeno di Fusina](#) (curiosità), la centrale a idrogeno dell'Enel decollata nel 2009.

LE POTENZIALITÀ DELL'IDROGENO IN ITALIA

Nella futura economia dell'idrogeno il 100% degli autoveicoli circolanti nel nostro Paese potrebbe essere rifornito con combustibile prodotto direttamente in Italia. E potrebbe essere italiano dal 20% al 93% del combustibile che alimenterà i veicoli europei. Sintesi dei risultati di Ricerca del Gruppo di Ricerca Energia e Ambiente del CIRPS (Centro Interuniversitario di Ricerca Per lo Sviluppo sostenibile) dell'Università di Roma "La Sapienza". L'Italia ha grandi risorse in termini di energie rinnovabili (irraggiamento solare, flusso delle acque, vento, biomasse); il potenziale globale è stimabile in:

- 325.000 GWh/anno di energia elettrica producibile, con una potenza installabile di oltre 135.000 MW se si considera l'attuale livello tecnologico e di rendimento;
- 540.000 GWh/anno di energia elettrica producibile, con una potenza installabile di oltre 200.000 MW se si considera un evoluto livello tecnologico e un "rendimento-obiettivo", quello ottenibile cioè con una consistente attività di ricerca.

Grazie a questo enorme potenziale di fonti rinnovabili è possibile produrre idrogeno in modo totalmente eco-compatibile, passando attraverso la generazione di energia elettrica ed il processo di elettrolisi (scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno grazie all'elettricità), oppure attraverso i processi di termolisi (scissione diretta dell'acqua in idrogeno e ossigeno nelle giuste condizioni di temperatura e pressione) o bio/termochimici per l'estrazione dell'idrogeno dalle biomasse.

Il potenziale di produzione di idrogeno da fonti rinnovabili è quindi stimabile in: 5.800.000 t/anno con tecnologia attuale di elettrolisi dell'acqua e dei processi bio/termochimici; 7.100.000 t/anno se si considera un livello tecnologico e di "rendimento-obiettivo" per il sistema di elettrolisi e per i processi bio/termochimici, raggiungibile con un'adeguata attività di ricerca.

Il potenziale è così suddiviso per singola fonte:

3.000.000 t/anno da irraggiamento solare (2.200.000 t/anno con i rendimenti attuali); 280.000 t/anno da impianti mini e micro-idraulici a bassissimo impatto ambientale (200.000 t/anno con i rendimenti attuali); 460.000 t/anno da energia eolica (325.000 t/anno con i rendimenti attuali); 3.360.000 t/anno da biomasse (agricole, forestali, rifiuti), che sarebbero 3.075.000 t/anno con i rendimenti attuali.

Questo potenziale è stato messo in relazione con il possibile futuro mercato europeo di combustibile-idrogeno nel settore autotrasporti, valutando i seguenti scenari:

Scenario A: 20% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno; Scenario B: 50% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno; Scenario C: 100% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno. Nella scenario A, l'Italia può arrivare a fornire l'93% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato italiano).

Nella scenario B, l'Italia può arrivare a fornire il 40% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato italiano). Nella scenario C, l'Italia può arrivare a fornire l'20% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato italiano).

**DALLA DE-INDUSTRIALIZZAZIONE ALLA RE-INDUSTRIALIZZAZIONE AMBIENTALE:
STIMA DELLE POTENZIALITÀ OCCUPAZIONALI.**

Le attività legate alla produzione di idrogeno pulito sono un'opportunità da non perdere per passare dall'attuale fase di de-industrializzazione a quella di una "re-industrializzazione ambientale" del Paese. L'economia dell'idrogeno può creare in Italia oltre 100.000 nuovi posti di lavoro. In prospettiva, i posti di lavoro con il potenziale di risorse esistenti possono arrivare fino a 600.000 – 1.000.000 di unità. Dalla de-industrializzazione alla re-industrializzazione ambientale: questa è l'opportunità offerta dal futuro mercato dell'idrogeno, legato a tecnologie ormai "dimoststrate", praticamente mature ma che richiedono un completamente dell'attività di sviluppo e l'avvio della fase di industrializzazione per l'intero sistema. La possibilità non è soltanto quella di creare nuovi posti di lavoro, quindi, ma di creare posti di lavoro da attività industriale, che pongono le base per solide premesse di sviluppo. Per giunta, si tratta di attività industriale ambientale, perfettamente in linea con la nuova richiesta sociale di Sviluppo Sostenibile. Utilizzando gli stessi parametri di proiezione occupazionale presenti nel Libro Bianco dell'Unione Europea, si può stimare che le sole attività di ricerca e sviluppo e di produzione dell'idrogeno da fonti rinnovabili (irraggiamento solare, flusso delle acque, vento, biomasse) con le tecnologie immediatamente applicabili possono creare in Italia oltre 70.000 nuovi posti di lavoro così suddivisi: 70% nel Mezzogiorno (isole maggiori comprese), 30% nel nord Italia. Lo sviluppo delle infrastrutture e dei sistemi di stoccaggio, trasporto e distribuzione può creare ulteriori 30.000 posti di lavoro che allo stato attuale di diffusione delle imprese e delle conoscenze sarebbero così suddivisi: 60% al nord, 40% al sud e isole maggiori. Le attività legate alla ricerca e sviluppo ed all'avvio della produzione, dello stoccaggio e della distribuzione dell'idrogeno da fonti rinnovabili offrono quindi lo scenario a breve termine (valutabile in un periodo di tre anni) di oltre 100.000 nuovi posti di lavoro, calcolati utilizzando i parametri occupazionali del Libro Bianco dell'UE, con un'interessantissima prevalenza al sud. Il livello di specializzazione richiesto, il contenuto tecnologico e le necessità di formazione continua caratterizzano l'elevata "qualità" di questo potenziale. In prospettiva, i posti di lavoro legati alla messa a regime di un sistema energetico basato sull'economia dell'idrogeno con produzione da fonti rinnovabili - con il potenziale di risorse esistenti - possono arrivare fino a 600.000 – 1.000.000 di unità, in funzione del livello tecnologico e delle attività manifatturiere che si riescono a sviluppare, calcolati di nuovo utilizzando gli stessi parametri occupazionali presenti nel Libro Bianco dell'Unione Europea e così suddivisi: 400.000 - 550.000 per produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno da irraggiamento solare; 50.000 - 100.000 per produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno da impianti mini e micro idroelettrici a bassissimo impatto ambientale; 50.000 -150.000 per produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno da energia eolica; 100.000 - 200.000 per produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno da biomasse. A queste proiezioni sono da aggiungere i posti di lavoro e la ricchezza economica producibili dalla realizzazione di sistemi di utilizzo dell'idrogeno, quali le pile a combustibile, i motori a combustione interna, i generatori di elettricità per uso stazionario, le automobili.

N come... Normativa Ambientale

DIRETTIVA UE DEL 20-20-20

Il Pacchetto Clima ed Energia del 2009 rende vincolanti gli obiettivi del 20-20-20, con i quali l'Unione europea si è impegnata a ridurre il consumo di energia del 20% ed aumentare il ricorso a fonti energetiche alternative del 20%, entro il 2020. Occorre pertanto che anche il nostro Paese traduca l'obiettivo complessivo comunitario del 20% in obiettivo individuale. Con questa direttiva l'UE punta ad abbattere del 20% le emissioni di gas ad effetto serra entro il 2020 (rispetto ai livelli del 1990) promuovendo l'impiego delle energie rinnovabili e limitando i consumi energetici. Tali misure ridurranno anche la dipendenza dalle importazioni di gas e idrocarburi e proteggeranno l'economia dalla volatilità dei prezzi energetici e dall'incertezza delle forniture. Tanto più che circa il 50% dell'energia che consumiamo proviene da paesi extra-UE e il tasso di dipendenza è in aumento. Una gran parte dell'energia arriva dalla Russia, le cui dispute con i paesi di transito hanno provocato ripetute interruzioni delle forniture negli ultimi anni.

NORMATIVA AMBIENTALE: INTERVISTA A MARINO MIDENA

Marino Midena giornalista e studioso delle tematiche ambientali ha collaborato con alcuni importanti enti di ricerca (ISMEA, Ist. Cervi, INEA, CNR, IDAIC, ENEA, CREAA) e con le Università di Roma "La Sapienza" (Cattedra di Diritto Agrario - Facoltà di Scienze Politiche) e l'Università della Tuscia di Viterbo (Cattedra di Diritto e Legislazione Ambientale – Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali) dove da anni svolge attività seminariale e partecipa come relatore a corsi, master e convegni. Presso l'Università della Tuscia ha anche ricoperto l'incarico per l'insegnamento di Diritto del Mare. E' autore di diverse pubblicazioni scientifiche. 1)

1) Quando nasce l'attenzione della comunità internazionale per le FER?

Nel panorama internazionale l'attenzione per le fonti rinnovabili è strettamente connessa al problema della eccessiva concentrazione dei gas serra nell'atmosfera. La comunità internazionale ha, infatti, sin dalla metà degli anni settanta individuato come lo sviluppo delle energie da fonte rinnovabile fosse una risposta importante per ridurre l'utilizzo delle fonti energetiche convenzionali (petrolio, gas e carbone). Il primo importante documento che ha posto in rilievo il ruolo strategico, ai fini della riduzione delle emissioni, delle energie da fonte rinnovabile è stato, nel 1987, il rapporto Brundtland che propone, tra l'altro, il modello dello sviluppo sostenibile (ovvero "lo sviluppo che deve rispondere alle necessità della generazione presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie").

Da allora la dimensione energetica dei cambiamenti climatici è stata al centro dei diversi summit mondiali sui temi dell'ambiente.

Il rapporto Brundtland anticipa di cinque anni la convenzione quadro approvata nel corso dell'UNCED, United Nations Conference on Environment and Development di Rio de Janeiro del 1992 che stabilisce l'impegno della comunità internazionale alla stabilizzazione delle emissioni di CO₂ ai livelli registrati nel 1990.

Nel 1997 il protocollo di Kyoto è stato uno degli strumenti di attuazione della Convenzione Quadro di Rio ed impegna i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione a diminuire le emissioni di anidride carbonica e degli altri gas serra (metano, protossido d'azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi esafluoruro di zolfo) in un arco di tempo tra 2008 ed il 2012. Il Protocollo, vincolante per i Paesi aderenti, prevedeva precise percentuali di riduzione delle emissioni a carico dei diversi stati: per gli Stati Uniti il SU - 7%; il Giappone - 6%; l'Italia - 6,5%. A Kyoto furono individuati due strumenti principali per il raggiungimento degli obiettivi. Il primo rinviava sostanzialmente a politiche e misure nazionali di intervento per il miglioramento dell'efficacia energetica, una gestione forestale sostenibile, l'incremento della ricerca, il sostegno alle energie rinnovabili. L'altra misura individuata era quella dei cosiddetti meccanismi flessibili (trade emissions, clean development mechanism joint implementation) per dare vita ad un vero e proprio mercato per acquisire (o cedere) crediti di emissione. A Bali, nel dicembre 2007, nel corso della Tredicesima Conferenza mondiale delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, a cui hanno preso parte ben 190 nazioni, è stato stabilito di prevedere un nuovo accordo di riduzione dei gas serra, nel 2009 a Copenaghen per il dopo 2012, ovvero successivamente alla scadenza del Protocollo di Kyoto.

2) Qual è la posizione dell'Unione Europea rispetto al protocollo di Kyoto?

L'Unione europea a partire dal protocollo di Kyoto ha assunto un ruolo di leadership a livello mondiale nella promozione (e nella produzione) delle energie rinnovabili. Un comportamento sicuramente dovuto ad una sincera convinzione della necessità dell'adozione di politiche, a livello planetario, di protezione ambientale e di riduzione delle emissioni, ma rafforzato dalla particolare condizione energetica del continente (importatore per il 50% delle sue risorse). La tutela dell'ambiente e l'esigenza di una maggiore sicurezza di approvvigionamento energetico spingono l'Unione Europea, all'indomani del protocollo di Kyoto, ad impegnarsi a raggiungere gli obiettivi fissati con il Protocollo (per quanto riguardava l'UE si trattava di una riduzione dell'8%) indipendentemente dalle sorti del Protocollo stesso. Il successo e la sopravvivenza del Protocollo, infatti, sono stati messi a lungo in forse dalla posizione di dichiarato contrasto del maggiore responsabile delle emissioni, gli Stati Uniti, e dal silenzio della Russia che da soli bastavano a "congelare" le sorti. L'articolo 25 del Protocollo prevedeva, infatti, che il medesimo entrasse in vigore il novantesimo giorno successivo alla data in cui almeno 55 Parti della Convenzione, le cui emissioni totali di biossido di carbonio rappresentassero almeno il 55% delle emissioni totali al 1990, avessero depositato i loro strumenti di ratifica, approvazione, adesione, accettazione. Condizioni che non potevano essere soddisfatte senza la partecipazione di almeno uno dei due Paesi citati. L'incognita fu superata con l'adesione della Russia nell'ottobre 2004 che consentì l'entrata in vigore del protocollo di Kyoto nel febbraio 2005 (l'adesione nel 2007 anche dell'Australia ha lasciato in completo isolamento il tradizionale alleato statunitense).

Uno degli strumenti principali individuati per la riduzione delle emissioni è stato lo Schema di mercato delle quote di emissione europee (European Union's Emission Trading Scheme – EU-ETS) approvato con la direttiva n. 87 del 2003, sul modello dell'emissions trading previsto dal Protocollo di Kyoto, che prevede dal 1° gennaio 2005 un sistema di permessi negoziabili di emissione CO₂ tra paesi UE.

Lo schema di mercato europeo introdotto con la direttiva n.87 del 2003 presenta alcune peculiarità rispetto a quello del protocollo come ad esempio la costituzione di un “Registro nazionale delle quote e delle emissioni”, la previsione di un “Piano Nazionale di Assegnazione (PNA)”, precise misure sanzionatorie. Lo schema di mercato, che nella direttiva 87 fa riferimento alle sole emissioni di CO₂, punta alla maggiore responsabilizzazione delle imprese che devono ottenere l’autorizzazione ad emettere e dichiarare le emissioni prodotte.

3) Come funziona lo scambio di quote?

Il sistema comunitario, fissato un tetto massimo al livello delle emissioni, consente ai partecipanti all’ETS, all’interno di tale limite, di acquistare o vendere quote (equivalenti ad emissioni) a seconda delle rispettive necessità. Le quote possono essere quindi considerate come la moneta di scambio dell’Emission Trading Scheme. Il titolare di una quota, conseguita sul mercato, acquisisce il diritto ad emettere una tonnellata di CO₂. Il limitato numero di quote, conseguenti alla fissazione di un tetto massimo, darà vita al gioco della domanda e dell’offerta tipico delle regole di mercato ed assegnerà anche un valore alle quote stesse. La finalità dell’ EU-ETS, come già detto, è quella di fornire uno strumento agli Stati membri dell’UE per centrare gli obiettivi e gli impegni assunti nella maniera economicamente più conveniente. Ogni soggetto potrà, infatti, decidere se ridurre le proprie emissioni o acquistare sul mercato i “diritti di emissione” rappresentati dalle quote. Dal 2008 l’ European Union’s Emission Trading Scheme – EU-ETS non si applica solo ai 27 Stati membri dell’Unione ma anche a Norvegia, Islanda e Liechtenstein (gli altri tre Paesi dello Spazio economico europeo).

4) Quali altre misure sono state adottate dalla UE per sostenere la produzione di energia rinnovabile?

Nel novembre dello stesso anno del Protocollo, il 1997, la Commissione Europea diffuse il libro bianco “Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili. Libro bianco per una strategia ed un Piano di Azione della Comunità”. Nel documento, sulla scorta della tradizionale preoccupazione per la propria dipendenza energetica, veniva indicato per il 2010 l’obiettivo di una produzione di rinnovabili pari al 12%. A tale scopo si evidenziava, l’esigenza dello sviluppo delle singole tecnologie per le rinnovabili ed il rafforzamento delle politiche comunitarie in materia e della cooperazione tra gli Stati membri. L’incremento della produzione delle energie rinnovabili, da ottenere grazie anche ad un piano d’azione integrato dai Piani Nazionali, avrebbe consentito significativi benefici occupazionali alla luce delle nuove opportunità, anche imprenditoriali, che potevano derivare da mercati aperti e concorrenziali.

Il tema energetico, infatti, era già stato affrontato, con la Direttiva n. 92 del 1996, relativamente al profilo del mercato interno. La direttiva “Norme comuni per il mercato interno dell’energia elettrica” prevedeva, infatti, la liberalizzazione delle attività di produzione, distribuzione e vendita e segnava, di fatto, il superamento del regime di monopolio pubblico. Il libro Bianco individuava anche alcune azioni chiave (tra queste: la creazione di 1 milione di sistemi fotovoltaici; 10 000 MW di grandi centrali eoliche; 10 000 MW di impianti di biomassa; l’integrazione in 100 comunità delle energie rinnovabili) con lo scopo di diffondere una “cultura per le rinnovabili” e promuoverne la diffusione nel territorio. Sul fronte degli interventi incentivanti occorre, poi, ricordare la Direttiva n. 77 del 2001 “Promozione e finanziamento delle rinnovabili nella produzione di energia elettrica” che stabilisce l’impegno degli stati ad adottare misure adeguate per aumentare il consumo di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. In questo quadro viene prevista la cosiddetta “GO” cioè la garanzia di origine, una sorta di tracciabilità per l’energia rinnovabile.

5)Di recente l'UE ha varato il “pacchetto 2007”: di cosa si tratta?

All'inizio del 2007 la Commissione europea ha predisposto un articolato “pacchetto” di proposte in materia di energia rinnovabile e cambiamenti climatici sulla cui base nel mese di marzo i capi di stato e di governo europei hanno adottato un piano d'azione globale nel settore dell'energia per il periodo 2007-2009. Con tali misure vengono individuati, per il 2020, alcuni obiettivi ambiziosi (giuridicamente vincolanti) quali una riduzione del 20% delle emissioni dei gas serra (la riduzione sarà portata al 30% entro il 2020 quando sarà stato concluso un nuovo accordo internazionale sui cambiamenti climatici), l'aumento del 20% dell'efficienza energetica, una quota pari al 20% di energie rinnovabili sul consumo complessivo di energia, una quota di biocarburanti pari al 10% rispetto al carburante utilizzato nel settore dell'autotrazione. La nuova politica dell'Unione vuole rappresentare una risposta ai problemi dell'approvvigionamento energetico dello sviluppo industriale e all'impegno di riduzione delle emissioni. Per capire la portata e l'onerosità dei nuovi traguardi fissati basti ricordare che oggi la quota di energie rinnovabili sul consumo energetico finale dell'UE è pari all'8,5%. Serve cioè un aumento dell'11,5%.

Nel dettaglio il pacchetto individua tre principali proposte legislative collegate tra loro:

- una proposta di modifica della direttiva sul sistema comunitario di scambio delle quote di emissione;
- una proposta relativa alla ripartizione degli sforzi da intraprendere per adempiere all'impegno comunitario a ridurre unilateralmente le emissioni di gas serra in settori non rientranti nel sistema comunitario di scambio delle quote di emissione (come i trasporti, l'edilizia, i servizi, i piccoli impianti industriali, l'agricoltura e i rifiuti);
- una proposta di direttiva sulla promozione delle energie rinnovabili, per contribuire a conseguire entrambi gli obiettivi di riduzione delle emissioni sopra indicati.

Con l'insieme del Pacchetto viene riconfermata la bontà dell'European Union's Emission Trading Scheme che a giudizio unanime si è rivelato uno strumento efficace di mercato per la riduzione delle emissioni di gas serra e per questo l'UE vuole ampliarne e migliorarne l'applicabilità (attualmente il sistema riguarda in tutta l'UE circa 10.000 impianti industriali). Il pacchetto prevede, inoltre, una proposta sulla disciplina giuridica della cattura e dello stoccaggio del carbonio, una comunicazione sulle attività di dimostrazione in materia di cattura e stoccaggio del carbonio e la nuova disciplina comunitaria degli aiuti di Stato per la tutela ambientale che aumenta le intensità di aiuto agli Stati membri per sviluppare politiche europee sostenibili in materia di clima e di energia e fissa un significativo equilibrio tra il conseguimento di maggiori benefici ambientali e la riduzione delle distorsioni della concorrenza. Alle misure individuate nel 2007 l'Unione Europea riconosce una primaria importanza strategica come ha dichiarato il presidente della Commissione José Manuel Barroso sottolineando come “la lotta ai cambiamenti climatici è la grande sfida politica che la nostra generazione deve affrontare. Il pacchetto dà la giusta risposta al problema della sicurezza energetica e rappresenta un'opportunità che dovrebbe portare alla creazione di migliaia di nuove imprese e di milioni di posti di lavoro in Europa, un'opportunità che dobbiamo cogliere al volo”.

6) Può fare una sintesi della legislazione italiana in materia di energie rinnovabili?

Venti anni fa, esattamente il 29 settembre 1988, il legislatore italiano presentò il Piano Energetico Nazionale (PEN) che forse può essere considerato il primo importante provvedimento che abbia tenuto in seria considerazione le energie prodotte da fonte rinnovabile come risposta al fabbisogno energetico del Paese. Nel PEN, presentato dall'allora Presidente del Consiglio Ciriaco De Mita, le energie rinnovabili vengono indicate come strumento di primario rilievo per perseguire i cinque obiettivi (risparmio dell'energia, protezione dell'ambiente, sviluppo delle risorse nazionali, diversificazione nell'uso delle varie fonti, competitività del sistema produttivo) individuati per "l'ampliamento dell'offerta di energia e un miglioramento delle condizioni di disponibilità" ma anche per "la gestione della domanda dal punto di vista sia quantitativo e qualitativo nel Paese". E', infatti, indubbio che le energie rinnovabili, soprattutto per un Paese povero di risorse energetiche qual è l'Italia, rappresentino, in quanto fonti interne ovvero prodotte nel nostro territorio, una soluzione, anche se parziale, ai problemi di approvvigionamento dei combustibili fossili (petrolio, carbone e gas) e di dipendenza dai paesi terzi. Una significativa produzione di energia pulita, come viene chiamata l'energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, inoltre, può contenere i rischi di fluttuazione dei prezzi dei combustibili, i cui effetti possono essere devastanti per l'economia dei Paesi come si sta verificando in questi ultimi mesi con i continui incrementi del costo del barile di petrolio. Il Legislatore nazionale ha perseguito, nel tempo, una politica di incentivazione delle FER (Fonti di energia rinnovabile) operando in tre direzioni: riorganizzazione del mercato (con il Decreto Bersani del 1999 si è realizzata la prima importante liberalizzazione nel settore), sostegno alla distribuzione (ad esempio con i certificati Bianchi) e sostegno alla produzione. Gli interventi normativi volti all'incremento della produzione delle energie rinnovabili prendono l'avvio all'indomani del PEN con le leggi n.9 e 10 del 1991 e con il provvedimento del Comitato Interministeriale Prezzi del 29 aprile 1992 (noto come CIP 6). Con tali provvedimenti si realizzava un sistema volto ad assicurare una remunerazione incentivata a favore dei produttori di energia generata da impianti alimentati da fonti rinnovabili (sole, vento, energia idraulica, risorse geotermiche, maree, moto ondoso, trasformazione dei rifiuti organici ed inorganici o prodotti vegetali) o da fonti assimilate a quelle rinnovabili (cogenerazione, calore di risulta ed altre forme di energia recuperabili in processi e in impianti, fonti fossili prodotte solo in giacimenti minori isolati). Il provvedimento CIP 6 ha il merito di aver introdotto un sistema incentivante alla produzione di energia rinnovabile o "pulita" per il perseguimento della sostenibilità del mercato elettrico. Occorre comunque ricordare che una forte spinta allo sviluppo della produzione di energie rinnovabili è derivata dagli impegni assunti dall'Italia nell'ambito degli accordi internazionali per la lotta ai cambiamenti climatici e per l'abbattimento delle emissioni di CO₂. Il protocollo di Kyoto, approvato nel dicembre del 1997, com'è noto, impegna i Paesi industrializzati ad una riduzione delle emissioni dei gas serra (prodotti principalmente dall'utilizzo dei combustibili fossili). La riduzione sottoscritta dall'Italia, da perseguire nel periodo 2008-2012, è del 6,5% rispetto alle emissioni prodotte nel 1990. Nel Protocollo vengono indicati anche alcuni strumenti per il raggiungimento degli obiettivi. Lo Schema di mercato delle quote, fatto proprio dalla Commissione Europea con la direttiva 2003/87/CE, è sicuramente il più importante.

Vengono fissati dei tetti di emissione per i settori produttivi che, attraverso il ricorso a politiche e misure nazionali di miglioramento dell'efficacia energetica e di maggiore produzione e utilizzo di energie rinnovabili, non devono essere superati. In particolare gli Stati, a tal fine, debbono elaborare un Piano Nazionale di assegnazione (PNA) contenente il numero delle quote di emissione suddivise nei singoli settori produttivi.

Un importante punto di svolta, nel nostro Paese, nelle misure di incentivazione della produzione di energia pulita è rappresentato dal Decreto Bersani del 1999 (D.Lgs. 79/99) con cui si è realizzata la prima importante liberalizzazione nel settore. La riforma del mercato elettrico, introdotta dal decreto Bersani in attuazione della direttiva 96/92/Ce, era ritenuta necessaria per l'inefficienza del settore e per gli enormi costi di gestione che gravavano sullo Stato. Il decreto stabiliva, tra l'altro, la liberalizzazione delle attività di produzione, esportazione, importazione, acquisto e vendita di energia elettrica. Superato il monopolio detenuto dall'Enel in seguito alla nazionalizzazione del 1962, la produzione di energia diventa un'attività liberalizzata su tutto il territorio nazionale, un modello di mercato che diventerà determinante anche ai fini dell'incremento della generazione di energie pulite. A dare piena attuazione al Decreto Bersani sono le direttive emanate con il D.M. 11 novembre 1999 che contiene significative misure di incentivazione alla generazione di energia rinnovabile. In particolare si specificano le procedure richieste per assolvere all'obbligo, introdotto dal Decreto 79/99, in capo alle imprese produttrici o importatrici di elettricità di immettere nel mercato interno una quota del 2% di energia generata da impianti, nuovi o ripotenziati alimentati da fonti di energia rinnovabili (art. 4 del decreto ministeriale). La percentuale di obbligo è stata in seguito elevata dal decreto legislativo n. 387/2003 (è stato introdotto un incremento annuale, dal 2004 sino al 2006, pari allo 0,35%). Per il raggiungimento di tale obiettivo il legislatore ha introdotto nel nostro ordinamento i Certificati Verdi (CV). I certificati verdi sono la nuova struttura di sostegno alla produzione di energie rinnovabili e segnano il passaggio dal precedente sistema di incentivazione caratterizzato da un riconoscimento economico predefinito, quale era il CIP 6, ad un incentivo fissato in base ad un meccanismo di mercato. I produttori o gli importatori possono, infatti, assolvere all'obbligo del 2%, fissato dal decreto, in maniera autonoma attraverso una adeguata produzione di energia rinnovabile nei propri impianti o possono soddisfare l'obbligo rivolgendosi al mercato e acquistando da terzi Certificati Verdi attestanti la produzione di energia rinnovabile (di valore pari o multiplo di 50 MWh) da parte di impianti IAFR (impianti alimentati da fonte rinnovabile). I Certificati Verdi sono titoli negoziabili e pertanto cedibili che il produttore (o l'importatore) ottiene generando energia con minori emissioni di CO₂ e quindi non attraverso un impianto alimentato con fonti fossili. Tanta più energia pulita si produce tanti più certificati si ottengono e possono essere ceduti a chi, soggetto all'obbligo, non è in grado di soddisfarlo in via autonoma. Si da vita, così, ad una struttura di acquisto e vendita caratterizzato da certificati ambientali (un sistema che può ricordare il Trade Emission previsto nel protocollo di Kyoto nel 1997) tra i detentori di CV e i produttori soggetti all'obbligo. I Certificati sono emessi e attribuiti annualmente dal GSE (il Gestore dei Servizi Elettrici è una società per azioni controllata dal Ministero dell'Economia e dal Ministero Attività Produttive) che si occupa, tra l'altro, di promuovere e incentivare la produzione di elettricità da FER.

Ai fini dell'obbligo e quindi per l'attribuzione dei CV, gli impianti di produzione di energia pulita devono essere entrati in funzione dopo il 1° aprile del 1999. Non è necessario che si tratti di impianti nuovi ma che siano stati soggetti a potenziamento, riattivazione, rifacimento totale o parziale. I Certificati Verdi sono stati oggetto di rivisitazione normativa, come ricordato, da parte del D.LGS. n. 387/03, in attuazione della direttiva 2001/77/CE di promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, che ha razionalizzato e semplificato le procedure autorizzative per la costruzione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. In questa rapida illustrazione è importante ricordare un altro strumento di sostegno alla produzione di energia pulita predisposto dal legislatore italiano: il Conto Energia.

Introdotta nel nostro ordinamento attraverso la direttiva 2001/77/CE (attuata dal già citato decreto legislativo n. 387 del 2003) il conto energia, operativo in Italia dal settembre 2005, consente di cedere la produzione di elettricità da fonte solare mediante impianti fotovoltaici al gestore della produzione elettrica con tariffe incentivanti. I Ministeri dello Sviluppo Economico (MSE) e dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), il 19 febbraio 2007, hanno emesso un nuovo decreto ministeriale che ha introdotto radicali modifiche e semplificazioni alla precedente disciplina (dettata dai decreti ministeriali del 28/07/2005 e del 6/02/2006) con riferimento, in particolare, alla concessione delle tariffe incentivanti. La maggiore novità è rappresentata dall'abolizione della fase istruttoria all'ammissione al sistema tariffario: la richiesta al Gestore dell'incentivo per 20 anni è successiva all'attivazione dell'impianto. Altra novità, che punta a contenere l'impatto paesaggistico, è la previsione di una tariffa maggiore riconosciuta ai piccoli impianti (3 kW) se integrati architettonicamente. Occorre infine ricordare che un punto di svolta nell'approccio allo sviluppo delle energie prodotte da fonti rinnovabili è rappresentato dalle ultime leggi finanziarie 2007 e 2008 (rispettivamente L. 27/12/2006, n. 296 e

Legge n. 244 del 24 dicembre 2007) che segnano una nuova strategia: il coinvolgimento diretto dell'utenza e dei piccoli produttori sensibilizzati e stimolati, attraverso agevolazioni fiscali, contributi e misure di semplificazione, all'utilizzo sostenibile, al risparmio della risorsa ed alla generazione incentivata di energie rinnovabili.

R come... Rifiuti



Il ciclo dei rifiuti

I rifiuti urbani (RU) prodotti nelle nostre case e dal nostro vivere quotidiano è composto principalmente da tre macrofrazioni, cui fanno seguito destini diversi: frazione umida, secco riciclabile e secco non riciclabile (o secco residuo). La separazione dei rifiuti viene fatta a monte con la raccolta differenziata, e a valle con impianti di separazione che vanno da quelli manuali a quelli ad elevata automazione.

Frazione umida



La frazione umida è la parte organica del rifiuto. Gli scarti organici umidi sono i residui alimentari (scarti di cucina) e scarti vegetali o frazione verde (scarti di potatura del verde pubblico e privato), classificabili come materiali organici biodegradabili o putrescibili. La frazione umida, opportunamente separata (domiciliarizzazione della raccolta; raccolta stradale con contenitori di varie dimensioni) viene inviata a due diversi tipi di impianti: quelli a fermentazione aerobica ([impianti di compostaggio](#), curiosità) e quelli a degradazione anaerobica ([digestori](#), curiosità). All'interno degli impianti di compostaggio il cosiddetto "umido" subisce una nuova separazione, viene ripulito dal secco ad elevata granulometria ancora presente, dai metalli, dai residui non organici e ne viene triturata la parte marcescibile. Alla fine dei cicli di compostaggio si ottiene il compost (usato come fertilizzante organico in agricoltura) e una parte di residuo secco non biodegradabile che viene inviata in discarica. Il trattamento del rifiuto umido produce però aria caratterizzata da polveri e da inquinanti gassosi. Per le polveri sono sufficienti dei sistemi fisici di rimozione, mentre per gli inquinanti gassosi si utilizzano sistemi più complessi, quali biofiltri o sistemi di combustione dell'aria. Il materiale organico può essere anche sottoposto a biodegradazione anaerobica: stoccato in silos (detti anche digestori anaerobici) viene aggredito da batteri bioriduttori che ne degradano la struttura, producendo biogas poi utilizzabile come energia pulita o fertilizzanti, il tutto a impatto ambientale zero.

Il secco riciclabile

Il secco riciclabile deriva dalla raccolta differenziata, eseguita con diversi metodi: porta a porta con tariffa puntuale (metodo in cui la tassa sui rifiuti si paga in base al rifiuto secco non riciclabile prodotto, incentivando così la differenziazione), campane multimateriale, isole ecologiche.

Per secco riciclabile s'intendono carta, legno, vetro, metalli e plastica.

Legno, carta, vetro e metalli vengono riutilizzati come materie prime. Il ciclo di recupero ha una parte residua non riciclabile molto ridotta, che viene inviata in discarica o agli impianti di termovalorizzazione.

La plastica necessita di un ulteriore snodo in quanto costituisce in realtà un insieme di plastiche incompatibili tra loro ai fini del trattamento di recupero. Il 70% circa dei rifiuti plastici è riciclabile, il residuo 30% non riciclabile viene smaltito nei forni. Le differenti plastiche vengono separate in impianti che sfruttano sia la selezione manuale, sia sistemi di automazione.



Il secco non riciclabile

I rifiuti che appartengono alla categoria del secco non riciclabile non sono attualmente recuperabili. Il loro luogo di deposito è il cassonetto dei rifiuti solidi urbani.



Al secco non riciclabile appartengono: contenitori per latte e succhi di frutta in tetrapak, oggetti e giocattoli in gomma e plastica, spugne, stracci, pannolini, assorbenti, polistirolo, plastica varia (esclusi contenitori per liquidi), cassette audio e video, sacchetti di plastica, borsette, vestiti inutilizzabili, scarpe vecchie, secchielli, bacinelle, penne, oggetti in plastica e bakelite, polveri dell'aspirapolvere, lampadine tradizionali (non al neon), cuscini, carta chimica, calze di nylon, carta carbone, oleata e plastificata. Il secco non riciclabile, o secco residuo, è la frazione del residuo su cui ruotano tutti i problemi. Come disfarsene? Le alternative sono due: lo stoccaggio in discarica o la combustione negli inceneritori.

Il secco non riciclabile ha origini diverse: da una raccolta differenziata ottimale si ottiene un rifiuto molto secco che viene stabilizzato e vagliato tramite procedimenti meccanici, ripulito dai residui di CDR (Combustibile da rifiuto), materiale dall'alto potere calorifico e basso contenuto in ceneri destinato ai termovalorizzatori.

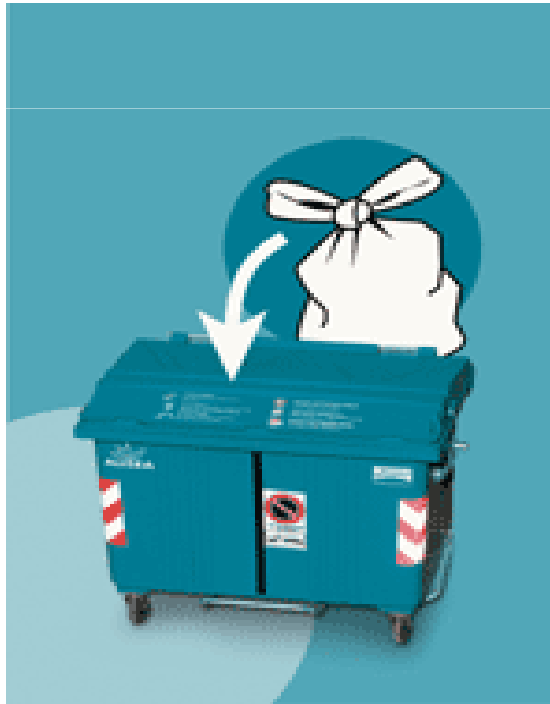
Da una raccolta non molto accurata si ottiene un rifiuto secco di bassa qualità e spesso destinato a discarica.

Il rifiuto “Tal Quale”

Oltre alle tre macro frazioni (frazione umida, secco riciclabile e secco non riciclabile, o secco residuo), c'è il rifiuto “tal quale”. Il rifiuto “tal quale” è il vecchio sacchetto nero che contiene immondizia indistinta, destinata agli inceneritori o alle discariche. Secondo le normative europee questo tipo di rifiuto non dovrebbe più esistere, così come gli impianti per smaltirlo.

Negli inceneritori il “tal quale” viene bruciato a temperature maggiori di 850 °C (necessarie per non produrre diossina). Le ceneri di combustione vengono usate nei cementifici o per manti stradali.

I fumi attraversano dei filtri: le polveri che ne derivano sono tossico-nocive e quindi vengono inertizzate e inviate in discariche controllate. Nelle discariche il “tal quale” produce biogas e percolati (curiosità) inviati ai depuratori.

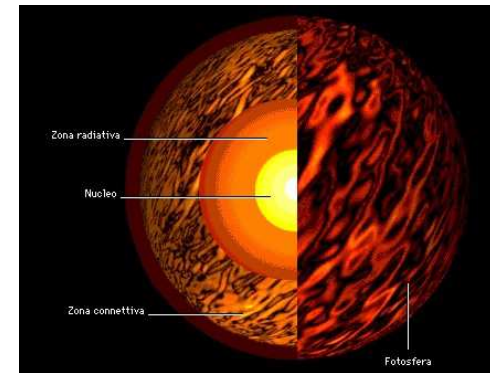


Spazzatura d'oro

La spazzatura è una risorsa. [Gestione dei rifiuti e tecniche di smaltimento](#) (approfondimento scientifico) trasformano in oro i rifiuti. Ne abbiamo esempi virtuosi anche in Italia. Nell'avamposto virtuoso del Triveneto, a San Giorgio Nogaro (UD), nel cuore dell'azienda Ideal Service, i rifiuti vengono trattati come risorsa e separati a valle. L'azienda ha adottato una tecnologia norvegese della differenziata a valle, che costa meno della differenziata a monte. Dentro lo stabilimento dell'Ideal Service un maxi nastro corre a 180 metri al minuto e trasporta i nostri scarti. Un laser controlla il mega tapis roulant dei rifiuti. L'intelligenza elettronica coglie la presenza di carta, plastica o latine nel fiume di rifiuti che procede alla velocità di 3 metri al secondo. E a ogni rilevazione scattano i lanci : a ripetizione, uno dietro l'altro. I beccucci colorati sparano aria compressa nel punto preciso memorizzato dalla lettura ottica : così parte la bottiglietta verso il nastro della plastica, il giornaleto schizza via nel tunnel della carta ; un altro sibilo e il tetrapack vola su un altro piano, tra i suoi simili. I rifiuti sembrano danzare e fruttare milioni di euro. Conviene a chi la raccoglie, a chi sa estrarne le materie prime, a chi la rivende. Magari piazzando all'asta le bottigliette di acqua minerale al prezzo record di 350 euro a tonnellata. Non a caso questa azienda leader sta sbarcando in Cina, con contatti importanti a Pechino, Shanghai e Hong Kong e in 10 anni è passata da un fatturato di 800 milioni di vecchie lire a un fatturato di 50 milioni di euro di oggi.

Comunque non tutto il Belpaese considera i rifiuti una risorsa, anzi spesso li vede solo come zavorra e ammasso di merce avariata da destinare in discariche. Siamo ancora lontani dall'obiettivo posto per legge nel 2007 : il 40% di riciclaggio. Eppure riciclare conviene. Lo sanno le regioni del Nord che la relazione dall'APAT premia come campioni della differenziata: Trentino (50% di raccolta per materiali), Veneto (48,7%), Lombardia (43,6), Piemonte (40,8%). Anche la Sardegna ha compiuto un recupero forte nella battaglia della separazione degli scarti. Ma i rifiuti, non debitamente smaltiti, possono provocare anche tragedie, come nel caso di [Napoli](#) (curiosità), letteralmente ricoperta di rifiuti per giorni e giorni nel 2009, perché mancavano discariche e quelle esistenti non erano state bonificate.

S come... Solare termico e termoelettrico



SOLARE TERMICO

L'energia termica derivante dall' irraggiamento solare può essere "catturata" in molti modi e utilizzata per le varie necessità energetiche: come semplice energia termica utile alla produzione di acqua calda per usi sanitari e per riscaldamento ma anche per ottenere energia frigorifera, energia elettrica o energia meccanica .

L'energia solare (approfondimento scientifico), infatti, può essere utilizzata per generare calore (solare termico) o per generare elettricità (fotovoltaico e solare a concentrazione).

Il solare termico sfrutta i raggi solari per scaldare un liquido con speciali caratteristiche, contenuto nel suo interno, che cede calore, tramite uno scambiatore di calore, all'acqua contenuta in un serbatoio di accumulo. Tutti gli edifici che dispongono di uno spazio soleggiato (tetto inclinato, tetto terrazzato, giardino, ecc.) possono essere dotati di un impianto solare (pannelli solari termici) per la produzione di acqua calda sanitaria. E' il caso di dire che quando il sole “si concentra”, rende molto di più, come nel caso dell’impianto solare termico nel carcere di Rebibbia (curiosità) a Roma.

I pannelli solari termici permettono di riscaldare l'acqua sanitaria per l'uso quotidiano senza utilizzare gas o elettricità. Si basano su un principio molto semplice: utilizzare il calore proveniente dal Sole e utilizzarlo per il riscaldamento o la produzione di acqua calda che può arrivare fino a 70° in estate, ben al di sopra dei normali 40°-45° necessari per una doccia. Entro certi limiti sono pertanto un efficace sostituto dello scaldabagno elettrico o della caldaia a gas per generare acqua calda. Il pannello solare termico , o collettore solare, è un dispositivo che converte la radiazione solare in energia termica, a differenza dei moduli fotovoltaici che convertono la radiazione solare in elettricità.

Un' interessante utilizzazione del solare termico è la cucina solare (curiosità), semplice e ecologica, molto utile per quelle persone (almeno due miliardi, un terzo dell'umanità) che ancora oggi non hanno accesso alle fonti considerate tradizionali per l'energia e che devono far fronte ai bisogni della vita quotidiana come possono: ad esempio, usando legna per cucinare, riscaldare, illuminare.

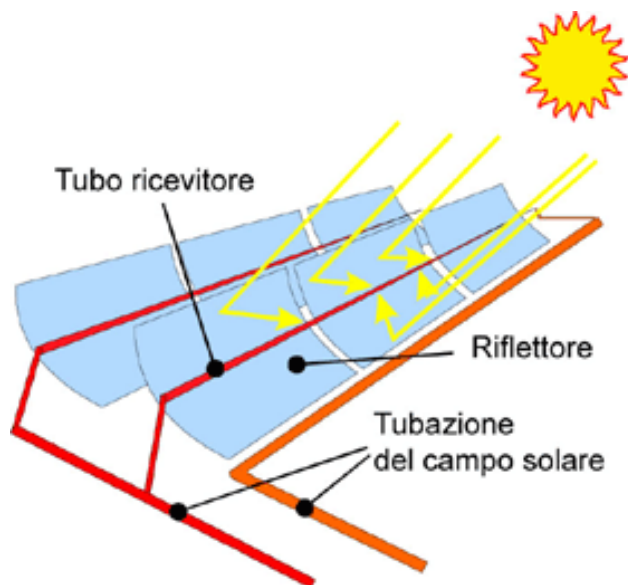
Il solare termoelettrico invece, tramite pannelli solari a concentrazione, sfrutta una serie di specchi parabolici a struttura lineare per concentrare i raggi solari su un tubo ricevitore in cui scorre un fluido termovettore o una serie di specchi piani che concentrano i raggi all'estremità di una torre in cui è posta una caldaia riempita di sali che per il calore fondono. In entrambi i casi "l'apparato ricevente" si riscalda a temperature molto elevate (400 °C ~ 600 °C), permettendo la produzione di energia elettrica.

SOLARE TERMOELETTRICO

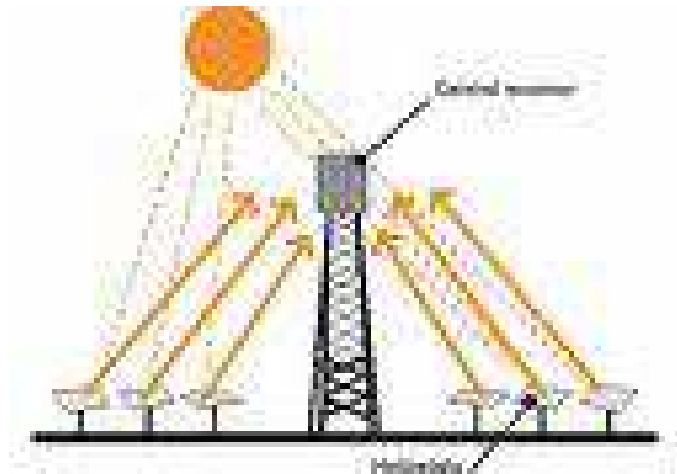
Archimede distrusse la flotta romana del generale Marcello con l'ausilio dell'energia del sole: per mezzo di uno specchio concavo formato da centinaia di scudi metallici che riflettevano i raggi del sole, Archimede concentrò l'energia solare sulle navi nemiche incendiandole. Analogamente agli specchi ustori di Archimede, la moderna energetica solare termoelettrica sfrutta la collimazione, per mezzo di specchi idonei, della radiazione solare per la produzione di energia.

Il metodo di generazione elettrica del Solare Termoelettrico è molto differente rispetto a quello fotovoltaico. Con la tecnologia fotovoltaica la radiazione solare viene convertita direttamente in energia elettrica senza che ci sia nessuna parte in movimento. Nel caso del solare termoelettrico, invece, la radiazione proveniente dal sole è catturata da specchi piani o curvi (fissi o con inseguitori solari), che la riflettono concentrata sul ricevitore, che può essere costituito da tubi o da una caldaia. Nel ricevitore c'è un fluido che, colpito dal calore concentrato, produce vapore ad alta pressione, il quale mette in moto una turbina che, a sua volta, aziona un generatore elettrico. Un sistema di accumulo termico permette di produrre energia elettrica anche la notte. Componente base delle tecnologie termoelettriche solari è un *collettore concentratore*, vale a dire un dispositivo in grado di raccogliere e convogliare la radiazione solare verso un ricevitore. I concentratori possono essere:

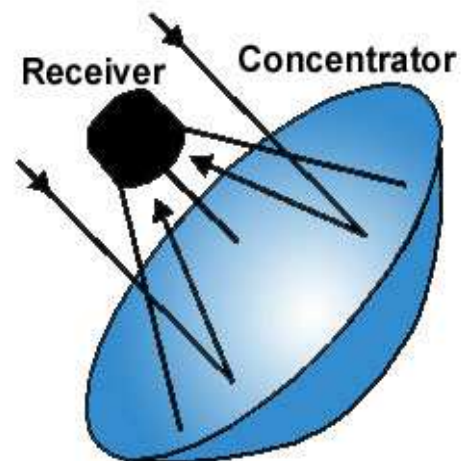
- a parabola lineare



- a torre con ricevitore centrale



- a disco



I concentratori a disco parabolico sono un particolare sistema di impianto solare termodinamico che lavora ad alta temperatura (A.T.) e tramite questo sistema si può trasformare l'energia termica raccolta in energia elettrica utilizzabile. L'energia termica viene raccolta direttamente concentrando i raggi solari su un particolare componente dove scorre un fluido quale acqua o gas, che ovviamente si riscalda e riscaldandosi si espande. Questa espansione mette in moto una turbina, che girando produce energia meccanica. Questa energia viene infine convertita in energia elettrica e il gioco è fatto. Proprio per questo motivo si parla di “concentratori”, perché sono componenti atti a concentrare, raccogliere la luce solare per trarne energia termica. Nel caso di concentratori a disco parabolico si utilizza uno specchio tondo (disco) a forma parabolica concava, che massimizza la superficie disponibile installato su un meccanismo in movimento, tipicamente un palo o una piattaforma, che segue la posizione del sole nelle varie fasi della giornata.

L'energia solare termoelettrica è uno dei pilastri della Rivoluzione Verde per il suo contributo alla diversificazione delle fonti energetiche e alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica. Oggi il solare termico a concentrazione è commercialmente maturo e permette di far funzionare impianti di riscaldamento e di raffreddamento, di dissalazione, di produzione di sostanze chimiche e di combustibili puliti, per la generazione di energia elettrica, con taglie che vanno da qualche kW a centinaia di megawatt. La promozione di fonti di energia sostenibili, competitive e sicure costituisce un obiettivo politico prioritario per l'Unione europea. L'attenzione maggiore concentrata sulle sfide poste dal cambiamento climatico ha fatto sì che quello dell'energia diventasse un settore di primo piano per l'Unione europea. Ed è per questo che il Consiglio dei governatori della Banca europea per gli investimenti ha deciso, nella seduta del 2007, di incrementare il contributo della BEI per progetti di energia pulita per l'Europa e di creare uno sportello speciale per gli investimenti in ambito energetico nei Paesi esterni all'UE.

La politica energetica dell'UE è definita nel Piano d'azione adottato dal Consiglio europeo di Bruxelles del marzo 2007, che fissa obiettivi ambiziosi: una riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2020 rispetto al 1990; una quota del 20% di energie rinnovabili sul mix complessivo di fonti di energia nell'UE; una quota del 10% di biocarburanti per i mezzi di trasporto a benzina e diesel; e una riduzione del 20% dei consumi energetici rispetto alle proiezioni di base per il 2020. La Commissione europea ha approvato, all'inizio del 2008, un pacchetto clima», che dovrà dare sostegno all'impegno assunto dal Consiglio europeo di combattere il cambiamento climatico e promuovere le energie rinnovabili.

Gli impianti solari termoelettrici possono essere di piccola, media e grande taglia.

TAGLIA PICCOLA

Impianti solari di taglia piccola possono essere considerati gli impianti trigenerativi (produzione di energia elettrica, calore e freddo) per piccole utenze industriali e civili. La microtrigenerazione segna l'alba della nuova energia per la casa, perché produrre elettricità, calore e raffreddamento ed infine recupera CO₂.

Se esaminiamo la figura 2, ci rendiamo conto del potente aiuto degli impianti trigenerativi.



1. Sistema radiante a pavimento e a parete. Impianti di riscaldamento e raffreddamento a bassa temperatura per applicazioni domestiche
2. Sistema Solare a circolazione forzata. Pannelli solari sottovuoto che consentono il riscaldamento degli ambienti, la produzione di acqua calda e il riscaldamento delle piscine.
3. Caldaia "Minifiamme" creata per ottimizzare il consumo sull'effettivo fabbisogno termico
4. Deumidificatore ideato per l'assorbimento del carico latente negli ambienti raffrescati con sistemi radianti
5. Refrigeratore estivo. Sistema ideale per raffreddamento radiante
6. Sensore temperatura umidità per la rilevazione in ambienti interni
7. Bollitore. Il bollitore di ultima generazione per la distribuzione energetica al riscaldamento radiante e/o ai consumi di acqua calda sanitaria.

TAGLIA MEDIA

Impianti solari di taglia media possono essere considerati gli impianti per la produzione di energia elettrica per industrie e grandi edifici. Si tratta di un solare “a misura di edificio”, utilizzabile per ospedali, scuole, aziende e istituti.



TAGLIA GRANDE

Impianti di grande taglia possono essere considerati le centrali solari. Il solare termico a concentrazione può vantare la realizzazione della titanica centrale solare nel deserto del Mojave in California: nove impianti basati sulla tecnologia dei concentratori parabolici lineari, di taglie da 30 MW e 80 MW per complessivi 354 MW, progettati, costruiti e messi in esercizio tra il 1984 e il 1990 (1 kilowatt =1.000 watt; 1 megawatt= un milione di watt; 1 gigawatt = un miliardo di watt).



Importanti innovazioni, ancora in corso di sperimentazione, sono state realizzate anche per gli impianti solari a torre. Presso il Weismann Institute of Science, in Israele, è in fase sperimentale un impianto con un campo specchi che concentra la radiazione solare su un riflettore posto in cima alla torre che, a sua volta, la riflette alla base della stessa, dove viene ulteriormente concentrata da un Concentratore Parabolico Composto, ottenendo così temperature fino e oltre a 1.300 °C e quindi adatte per impianti di produzione elettrica a ciclo combinato gas/Rankine. Un'altra versione degli impianti a torre è in fase di sviluppo in Australia e prevede un Campo Solare Multitorre, nel quale la radiazione solare viene concentrata da più campi di specchi su più torri di dimensioni contenute nei 4-10 metri; questa tipologia di impianto può essere installata anche in ambiente urbano, per esempio sui tetti di grossi edifici industriali o di estese aree di parcheggio.

Questi esempi non esauriscono tuttavia le molteplici prospettive di ricerca, sviluppo e applicazione del settore.

Il solare a concentrazione o termodinamico avrà un ruolo determinante nello sforzo alla "decarbonizzazione" delle economie industrializzate e, con oltre due milioni di posti di lavoro al 2050, sarà uno dei settori trainanti della terza rivoluzione industriale ed energetica. L'affermazione è tratta dal rapporto "Global Concentrating Solar Power Outlook 2009", pubblicato e redatto da Greenpeace insieme a Estela (European Solar Thermal Electricity Association) e SolarPACES (Solar Power and Chemical Energy Systems).

Nel report si stima che, nel caso di uno scenario avanzato, l'energia solare termodinamica potrebbe riuscire a fornire il 7% circa dell'elettricità mondiale al 2030 e il 25% al 2050. La capacità installata potrebbero toccare quota 1.500 GW.

In questo ambito si pone "[Desertec](#)" (curiosità), l'ambizioso progetto che ha l'obiettivo di produrre elettricità da un enorme impianto solare termico a concentrazione nel deserto del Sahara con una potenza di circa 100 GW.

Si inserisce la sequenza dei LINK evidenziati nel testo del Dizionario dell'ambiente e delle Energie Rinnovabili:

- ✓ Alberi Fotovoltaici
- ✓ Alghe e Biodiesel
- ✓ Aria malata
- ✓ Beatrice
- ✓ Biomassa
- ✓ Boschi Verticali
- ✓ Carcere Rebibbia
- ✓ Cina
- ✓ ColossoIdrogeno
- ✓ Combustibili
- ✓ Compostaggio
- ✓ Cucina Solare
- ✓ Desertec
- ✓ Digestori
- ✓ Energia Eolica
- ✓ Energia Solare
- ✓ Energia
- ✓ Gestione Smaltimento Rifiuti
- ✓ Grattaceli Fotovoltaici
- ✓ Green Peace EPIA
- ✓ Idrogeno
- ✓ Jatropha
- ✓ Legna da ardere
- ✓ Megaturbina off-shore
- ✓ Microgeneratori Eolici
- ✓ Napoli
- ✓ Nascetti
- ✓ Percolati
- ✓ Pompe Fotovoltaiche
- ✓ Solare Fotovoltaico
- ✓ Uso razionale energia

Alberi fotovoltaici

L'albero fotovoltaico è stato realizzato da Gruppo Beghelli ed è in grado di sfruttare l'energia geotermica e solare. L'albero dell'energia Beghelli è un'elegante struttura in legno che sostiene, al posto dei rami, stringhe di moduli solari, dalla cui base si insinuano nel terreno sonde verticali che sfruttano l'energia geotermica. Dotato di un meccanismo a inseguimento solare, l'albero del sole è un esempio di risparmio energetico e riduzione dell'impatto ambientale.



Alghe microscopiche e biodiesel

E' possibile ricavare biodiesel dalle alghe. Negli Stati Uniti la ricerca a tal proposito sta facendo passi da gigante, ma anche in Italia c'è chi sta percorrendo questa strada, precisamente due docenti dell'Università Politecnica delle Marche, coadiuvati dai loro rispettivi staff: il prof. Mario Giordano del Dipartimento Scienze del Mare Laboratorio di Fisiologia delle Alghe della Facoltà di Scienze ed il prof. Fabio Polonara del dipartimento Energetica della Facoltà di Ingegneria.

Da tempo i biocarburanti sono stati messi sott'accusa perché considerati da alcuni "rei" di sottrarre spazio ai terreni coltivabili a scopo alimentare. Inoltre viene attribuita ai biocarburanti la colpa dell'aumento dei prezzi dei beni alimentari. Ed è inevitabile che, se si utilizzano come fonti di biocarburanti piante che crescono su terreni di valore agricolo, nasca una competizione con le colture che servono per nutrire la gente. Quindi la coltivazione di piante superiori (mais, colza, ecc.) per la produzione di carburante, soprattutto su larga scala, potrebbe diventare un problema che, invece, non sussiste nel caso della coltivazione di microalghe.

La coltivazione di microalghe, quindi di organismi unicellulari, è molto diversa da quella delle macroalghe che presenta problemi analoghi a quelli delle piante superiori, perché richiede estensioni di superficie in mare o in terra che entrano in competizione con attività di altro tipo come la balneazione, la pesca o l'utilizzo di terreni. Invece le microalghe sono organismi talmente piccoli da essere visibili solo al microscopio. La coltivazione avviene in sospensione, cioè le alghe non sono attaccate ad un substrato, ma nuotano in una soluzione e producono quantità di biomassa ricca di oli che è di alcuni ordini di grandezza maggiore di quella prodotta dalle piante superiori: su un ettaro le microalghe possono produrre oli in quantità superiore di 10/20/100 volte di quanto si potrebbe ottenere dalle piante superiori.

Aria malata

1.1. L'inquinamento dell'atmosfera

L'inquinamento dell'atmosfera è la conseguenza dell'immissione nella stessa di sostanze chimiche che, per qualità e quantità, ne alterano le caratteristiche di salubrità causando un impatto negativo sulla salute delle popolazioni esposte. Poiché alcune delle sostanze inquinanti l'atmosfera esercitano danni in altri comparti ambientali (vegetazione ecc.), tale definizione può essere estesa includendo anche sostanze che, sebbene non riconosciute dannose per la salute, sono egualmente importanti per la conservazione dei beni ambientali. Quindi, i gas responsabili dell'effetto serra o della formazione del buco dell'ozonosfera, oppure le sostanze in grado di apportare danni alla vegetazione o alle opere d'arte, possono a tutti gli effetti essere considerate inquinanti atmosferici. Gli effetti ambientali più importanti delle sostanze aerodisperse possono essere molto diversificati e tale diversificazione può essere osservata anche nelle loro sorgenti e nei loro effetti. Questi sono dipendenti sia dalla concentrazione dell'inquinante, ossia la massa della specie considerata per volume unitario d'aria, sia dall'esposizione, intesa invece come l'integrale nel tempo della concentrazione della specie in un determinato sito.

Purtroppo non è sempre facile individuare i rapporti tra concentrazione dell'inquinante, esposizione (o dose) ed effetto. Quest'ultimo, tra l'altro, varia molto al variare dei soggetti esposti (a parità di dose), anche per una stessa tipologia. La normativa è, quindi, indirizzata a fissare limiti prudenziali o soglie al di sotto delle quali non si abbiano effetti irreversibili e nocivi.

Dal punto di vista fisico, gli inquinanti sono distinti in gassosi e particellari. Quest'ultimo termine indica la presenza delle specie di interesse in particelle sospese che, per le loro caratteristiche aerodinamiche, sono in grado di rimanere in fase aerodispersa per un tempo sufficientemente lungo. In questa fase si trovano composti inorganici ed organici a bassa tensione di vapore. Alcune sostanze possono quindi essere trovate simultaneamente nella fase gassosa ed in quella particellare.

Un'altra classificazione che viene fatta tra gli inquinanti dell'atmosfera riguarda la loro genesi. Infatti alcune sostanze si formano per emissione dall'ambiente naturale e, poichè esse sono in grado di esercitare effetti dannosi sull'ambiente, possono essere classificate come naturali per distinguerle da quelle generate da attività riconducibili alla presenza umana, ossia gli inquinanti antropici. Tra gli inquinanti di origine naturale vanno classificati quelli emessi da eruzioni vulcaniche, dall'erosione del suolo, dagli incendi ecc. Le catastrofi naturali, anche se indotte da imperizia dell'uomo, hanno tuttavia una notevole influenza sulla salute dell'uomo e sul benessere sociale. Sarebbe bene stabilire delle opportune correlazioni con gli inquinanti di origine antropica, se non altro per un adeguato dimensionamento dei connessi provvedimenti.

Un'altra importante classificazione che può essere fatta sugli inquinanti riguarda il loro impatto alle diverse scale spaziali. Da questo punto di vista, è possibile distinguere inquinanti atmosferici relativi alle seguenti scale:

scala planetaria: composti responsabili dei processi di distruzione dell'ozonosfera da CFC (clorofluorocarburi). Emissioni in atmosfera di gas serra quali i CFC stessi, il biossido di carbonio, l'ossido nitroso (NO_2), il metano ed altri

scala regionale: gli inquinanti tipici delle scale regionali sono quelli responsabili dell'inquinamento fotochimico, delle piogge acide e della deposizione di metalli pesanti. Questi inquinanti sono responsabili di danni che possono interessare vaste porzioni di territorio

scala locale: sono gli inquinanti tipici delle aree industriali e delle aree urbane che interessano appunto questo tipo di ambienti

microscala: inquinanti che esercitano effetti avversi sugli ambienti a microscala quali interni di autoveicoli, abitazioni, uffici ecc.

Le sorgenti di inquinamento sono dunque molto differenziate per qualità, quantità e distribuzione territoriale, per cui è sempre difficile elaborare criteri generali ed unificanti. Infatti, oltre alla classificazione in sorgenti naturali ed antropiche oppure sulla base della scala di effetto, si possono definire altri criteri sulla base, per esempio, degli effetti ambientali oppure sulla base delle caratteristiche tecniche delle sorgenti. In ogni caso, prima di approfondire la parte relativa ai diversi contributi che ci si aspetta dalle diverse sorgenti di inquinanti, è opportuno richiamare i principali contaminanti, le loro caratteristiche fondamentali, i loro effetti ambientali e le loro più importanti fonti di produzione.

1.2. Gli inquinanti dell'atmosfera

Poiché alla definizione di inquinante è associata anche una definizione di danno, reale o possibile, è importante mettere in evidenza che l'eventuale danno può essere causato dagli inquinanti direttamente generati nei processi chimici che caratterizzano le varie attività industriali, oppure da sostanze, anch'esse inquinanti, formate successivamente per reazioni chimiche nell'atmosfera. E' dunque possibile classificare gli inquinanti sulla base del loro processo di formazione in due classi: primari e secondari.

Inquinanti primari

Sono sostanze emesse dalle fonti di combustione e come tali esercitano la loro funzione di danno nei confronti dell'ambiente. Un tipico esempio di inquinante primario è il monossido di carbonio, emesso da processi di combustione.

Inquinanti secondari

Sono sostanze formate in atmosfera attraverso reazioni chimiche che avvengono tra composti emessi dalle fonti inquinanti che, come tali, non potrebbero essere considerati dannosi per l'ambiente. Un esempio di inquinante secondario è il biossido di azoto, che si forma per ossidazione del monossido di azoto emesso sovente in quantità notevoli dalle sorgenti di combustione.

Inquinanti primari e secondari, nella maggior parte delle volte in associazione, sono responsabili dei danni alla salute umana ed all'ambiente, sebbene la loro genesi, processi di trasformazione e gli effetti ambientali siano molto diversificati. La grande quantità di inquinanti impedisce una loro completa descrizione e quindi saranno discussi solo i principali, per i quali le legislazioni nazionali ed internazionali hanno già fissato limiti, standard di qualità e criteri per la mitigazione dei loro effetti avversi, naturalmente non si accenna a tutti gli inquinanti che possono derivare dalle applicazioni della chimica in agricoltura, da additivi nell'industria alimentare e da eccessive dosi di sostanze naturali.

Monossido di carbonio

Prodotto intermedio delle reazioni di combustione, si forma a temperature di combustione relativamente basse ed in miscele povere di aria. Viene emesso in quantità ingenti negli scarichi autoveicolari e parzialmente anche in alcuni processi industriali. Concentrazioni elevate possono essere riscontrate nelle zone ad intenso traffico autoveicolare nei centri urbani. Il monossido di carbonio partecipa attivamente alle reazioni di ossidazione fotochimica e, specialmente in prossimità di strade ad intenso traffico autoveicolare, può essere responsabile della formazione di elevate quantità di biossido di azoto. I suoi effetti ambientali sono legati alla sua capacità, di legarsi all'emoglobina, riducendo così l'apporto di ossigeno ad altri organi.

Biossido di azoto

Sostanza molto tossica sia a breve sia a lungo termine. Essa viene formata per ossidazione del monossido di azoto da ozono oppure da perossiradicali formati, a loro volta, da reazioni fotochimiche. Poiché il suo precursore è formato nei processi di combustione, la sua genesi è da attribuire al traffico autoveicolare ed alla produzione di energia. Il biossido di azoto viene ossidato in atmosfera ad acido nitrico che costituisce uno dei componenti principali della deposizione acida secca ed umida. Inoltre la miscela di biossido di azoto ed ossido di azoto è responsabile, insieme agli idrocarburi reattivi, della formazione di ozono e degli inquinanti fotochimici.

Biossido di Zolfo

Si forma per combustione di sostanze contenenti zolfo. Costituisce un inquinante tradizionale la cui concentrazione è ora ridotta a livelli molto bassi grazie all'utilizzazione di combustibili a tenore di zolfo molto basso, previsti dalla maggior parte delle legislazioni e da protocolli internazionali. Infatti questa specie può essere trasportata a lunga distanza trasformandosi in acido solforico in fase particellare. L'acido solforico, oltre a contribuire alla deposizione acida, si rivela uno dei componenti più tossici del particolato.

Composti organici volatili

Con questo termine (COV) si intende la miscela di composti organici che, data la loro elevata tensione di vapore, sono presenti in atmosfera in fase gassosa. Essi sono emessi da molti processi industriali che utilizzano solventi, da processi di combustione incomplete e dalla movimentazione e relativa evaporazione di carburanti. Di conseguenza, processi industriali e traffico autoveicolare sono le loro sorgenti principali, anche se le emissioni di idrocarburi dalla vegetazione sono molto rilevanti. Da un punto di vista chimico, i COV contengono idrocarburi saturi ed insaturi nonché composti ossigenati quali aldeidi, chetoni, acidi ed altri. Alcune di queste specie sono tossiche ed anche cancerogene. Gli effetti ambientali dei COV, non si limitano però solo a quelli sulla salute, in quanto essi sono responsabili della formazione di ozono ed altri fotoossidanti i quali, a loro volta sono responsabili di effetti avversi sulla salute e sull'ambiente.

Materiale particolato sospeso

E' un insieme di composti inorganici ed organici a bassa tensione di vapore che formano particelle aerodisperse di diametro compreso tra 0,01 e 50 μm circa. Il limite superiore viene fissato dalla velocità di sedimentazione gravitazionale, mentre quello inferiore viene definito dai processi di coagulazione. La fase particellare contiene anche la maggior parte dei composti dei metalli pesanti (nichel, vanadio, cadmio ecc.). Gli effetti ambientali delle particelle sono molto rilevanti. Esse alterano il bilancio radiativo tra terra ed atmosfera e sono responsabili della riduzione della visibilità. Per quanto riguarda gli aspetti legati alla salute umana, assumono grande importanza le particelle respirabili, ossia quelle aventi diametro aerodinamico inferiore a 10 μm , oppure quelle inalabili, caratterizzate da un diametro aerodinamico inferiore a 2,5 μm . Infatti, al concetto di particolato sospeso (PTS) ora si è affiancato quello della classificazione granulometrica ai livelli citati e le concentrazioni di particelle sono ora preferenzialmente espresse attraverso i dati PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$. La genesi delle particelle è legata a processi naturali (spray marino, incendi, erosione del suolo, eruzioni vulcaniche) od a processi antropici, Industrie e traffico autoveicolare, nonché la produzione di energia sono le sorgenti più significative di materiale particolato sospeso. Una frazione che può essere molto rilevante della fase particellare è costituita da aerosoli secondari, formati cioè da reazioni chimiche di sostanze allo stato gassoso. I componenti secondari più importanti sono i sali d'ammonio derivati dalla neutralizzazione degli acidi nitrico e solforico generati dall'ossidazione di biossido di azoto e zolfo rispettivamente. Poiché il materiale particolato contiene sostanze organiche pesanti, esso può presentare proprietà cancerogene. Tra gli aerosoli che da questo punto di vista sono i più pericolosi sono da annoverare quelli provenienti dalle emissioni di motori diesel. Queste tra l'altro, contengono anche grandi quantità di particelle carboniose nere.

Ozono

Costituisce l'inquinante più importante della famiglia fotochimica. Questi inquinanti sono formati per reazioni tra ossidi di azoto e idrocarburi reattivi. La catena di reazioni associate alla formazione di queste sostanze è molto complessa e porta alla formazione di composti di varia natura, quali aldeidi, perossidi alchil nitrati, acido nitrico ed altri composti in fase gassosa ed aerosolica.

L'inquinamento fotochimico costituisce un serio problema in quanto l'ozono viene trasportato a lunga distanza e le concentrazioni ambientali riscontrate sono già sufficienti per provocare danni alla vegetazione, mentre gli standard di protezione della salute pubblica sono sempre più bassi. Inoltre, la lotta a questo tipo di inquinamento viene complicata dal fatto che i precursori dell'ozono su un determinato recettore possono essere emessi da distanze rilevanti. Inoltre, la relazione tra emissione di precursori ed ossidanti fotochimici è di tipo non lineare, complicando così le strategie di intervento. Gli effetti dell'ozono e dei fotoossidanti sulla salute umana sono relativi al sistema respiratorio debilitando così soggetti già naturalmente deboli (bambini, anziani, malati ecc.).

Piombo

Il piombo è un inquinante tipico del traffico autoveicolare in quanto presente, in un recente passato, come piombo tetraetile nelle benzine alle quali conferisce proprietà antidetonanti. L'utilizzazione di benzine senza piombo, per consentire il funzionamento dei catalizzatori, ha drasticamente diminuito o annullato, nel carburante, la concentrazione di piombo che ormai può essere considerata generalmente al di sotto dei limiti di sicurezza stabiliti.

Benzene

Il benzene è un idrocarburo aromatico recentemente portato all'attenzione dei responsabili dell'ambiente a causa della sua cancerogenicità. Il benzene è naturalmente presente nelle benzine e viene quindi emesso nell'atmosfera dall'evaporazione dei carburanti conseguente alle operazioni di movimentazione. Inoltre, gli altri idrocarburi aromatici presenti nella benzina possono degradare a benzene, che infatti si trova in grandi quantità negli scarichi autoveicolari dai quali può essere rimosso molto efficacemente utilizzando catalizzatori. Poiché le emissioni di benzene sono legate direttamente od indirettamente al traffico autoveicolare, esso costituisce un serio problema ambientale solo nelle aree urbane. Infatti il benzene di provenienza industriale costituisce solo una minima quantità. E' da osservare che l'elevato tempo di vita media del benzene in atmosfera è causa del suo trasporto anche ad elevate distanze.

Idrocarburi poliaromatici

Questa classe di inquinanti si riferisce a specie chimiche ad anello benzenico condensato che mostrano spiccate caratteristiche di cancerogenicità. Essi sono formati nei processi di combustione nei quali la produzione di idrocarburi poliaromatici viene favorita dalla loro stabilità termodinamica. La loro bassa tensione di vapore favorisce la loro presenza in fase particellare mentre in fase vapore essi possono essere convertiti in composti ossigenati o nitrati che possono risultare più cancerogeni dei prodotti iniziali.

$$\delta C / \delta t = \alpha[\phi] - \beta C + \sum P_i - \sum L_j + L_s + Adv$$

C: concentrazione della specie in esame al suolo

α : termine relativo alla stabilità atmosferica

ϕ : flusso di emissione dell'inquinante dalla sorgente

βC : termine di diffusione turbolenta

P_i : velocità di formazione della reazione i-esima

L_j : velocità di rimozione della reazione chimica j-esima

L_s : rimozione causata da deposizione secca od umida

Adv: termine relativo all'avvezione (trasporto a distanza)

Beatrice

Beatrice, l'imponente "torre dei venti" del Mare del Nord, è un progetto europeo ed è la prima sperimentazione dell'UE di "DOWNVInD" (Distant Off-shore Windfarms with No Visual Impact in Deepwater (centrali eoliche lontane dalla costa senza impatto visivo in acque profonde).

A un paio di chilometri da questa gigantesca turbina eolica si erigono le piattaforme petrolifere "Beatrice Alpha", "Bravo" e "Charlie". Non è un caso che Beatrice si trovi nelle vicinanze di piattaforme petrolifere: uno degli obiettivi di "DOWNVInD" è infatti dimostrare come alcune delle tecnologie usate per la costruzione delle piattaforme di estrazione off-shore di petrolio possano essere trasferite con successo al settore eolico, diminuendone così i costi.

L'elettricità del generatore eolico "Beatrice" ha il compito di approvvigionare le 3 piattaforme petrolifere tramite un cavo sottomarino. E non è che l'inizio: Beatrice, con la sua potenza di 5 M, è solo la prima fase di un progetto europeo per realizzare una maxi-centrale (una fra le più grandi centrali eoliche del pianeta), che dal 2012 soddisferà il 20% del fabbisogno elettrico della Scozia.

Biomasse

Per biomassa si intende tutta la materia organica, in forma non fossile, e con eccezione delle plastiche, comprendente prodotti e residui agricoli e forestali, residui agroindustriali, rifiuti organici, reflui zootecnici, piante acquatiche, specie vegetali che vengono coltivate per essere destinate alla conversione energetica (colture energetiche), da cui può essere ricavata energia perché hanno accumulato precedentemente energia solare attraverso il processo di fotosintesi.

Mediante tale processo vengono fissate circa $2 \cdot 10^{11}$ tonnellate di carbonio l'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di $70 \cdot 10^3$ MTOE, corrispondente ad oltre 8 volte l'attuale consumo energetico mondiale di energia primaria. Allo stato attuale il processo di fotosintesi si svolge, con media mondiale, con rendimenti di poco superiori allo 0,1%.

La biomassa è ampiamente disponibile ovunque e rappresenta una risorsa locale, pulita e rinnovabile. Essa, inoltre, può essere convertita in combustibili solidi, liquidi e gassosi, ovvero essere impiegata, tramite tecnologie commercialmente disponibili, direttamente come combustibile.

Processi di conversione

Ogni tipo di biomassa è composto da una parte di acqua, comunemente detta umidità, e da una parte secca espressa dal contenuto di protidi grezzi, lipidi grezzi, fibra grezza, estratti in azotati, cenere. La composizione della sostanza secca consente di stabilire le proprietà fisico-chimiche della biomassa e, di conseguenza, permette di evidenziare la conversione energetica più idonea.

Un contenuto di C notevolmente superiore al contenuto di N è indice della presenza nei tessuti vegetali di composti organici di rinforzo come la lignina, caratterizzati da struttura chimica molto complessa, lenta biodegradabilità, elevata attitudine alla combustione.

La lignificazione dei tessuti vegetali delle piante erbacee ha inizio nell'ultima fase del ciclo vegetativo, manifestandosi con l'essiccazione e l'ingiallimento della parte epigea della pianta. Per questo motivo alcune colture (cereali), che forniscono il prodotto al termine del loro ciclo vegetativo (maturazione fisiologica), presentano sempre sottoprodotti colturali con elevati rapporti C/N e, come tali con eccellenti caratteristiche combustibili. Lo stesso avviene per le specie arboree, da frutto o da legname, il cui legno (di potatura e dendrometrico) o le cui strutture di protezione della parte edule (gusci, noccioli), risultano costituiti da tessuto vegetale ormai morto.

Opposto è il discorso per le biomasse a basso C/N; il maggior peso dell'azoto sul carbonio presuppone tessuti vegetali vitali, verdi, ricchi di acqua e sostanze minerali, che costituiscono un ottimo substrato per l'attacco biochimico. Fra i sottoprodotti colturali di questo tipo si evidenziano quelli derivanti da colture (barbabietole da zucchero, colture ortive, ecc.) il cui prodotto principale viene raccolto a maturazione agraria, ossia durante il ciclo vegetativo della pianta.

L'umidità, contenuta nei tessuti vegetali, al momento dell'impiego, penalizza l'attitudine alla combustione della stessa biomassa, in quanto riduce la quantità di sostanza secca e causa lo "spreco" di parte del calore sviluppato durante la combustione per l'essiccazione completa. Il contenuto di umidità dei prodotti e sottoprodotti colturali all'atto del loro recupero dipende da numerosi fattori, quali il tipo di coltura, la composizione chimica del sottoprodotto, l'epoca e le modalità di raccolta del prodotto, il periodo utile di recupero, il tempo di permanenza del sottoprodotto colturale in campo in relazione alle condizioni ambientali.

L'umidità, inoltre, impone scelte tecniche precise nella fase successiva alla raccolta (conservazione e immagazzinamento del materiale): quanto minore è il valore dell'umidità, tanto più facile e meno laboriose sono le modalità operative di stoccaggio e viceversa. Va osservato, infine, che l'umidità di alcuni materiali cambia nel tempo tendendo a portarsi in equilibrio con l'ambiente circostante. Residui di potatura o specie legnose raccolti con umidità del 40÷45% evidenziano curve di essiccazione naturale differenti in relazione sia alle modalità di recupero (imballatura, trinciatura, sminuzzatura, conservazione in cumulo, ecc.). Viceversa, altri materiali più secchi, denotano una variazione di umidità più limitata e poco influenzata da fattori esterni (paglia dei cereali). Il contenuto di umidità degli scarti di lavorazione dipende, invece, sia dalle modalità del processo produttivo che dà origine allo scarto stesso, sia dal sistema del suo immagazzinamento. Si rendono, pertanto, disponibili, scarti secchi (lolla, gusci, residui di legname, ecc.), umidi ma facilmente essiccabili per via naturale (noccioli, sanse esauste, vinaccioli, ecc.); umidi ed essiccabili artificialmente (vinacce, borlande¹³, ecc.). In Tabella 1 vengono fornite, per le principali biomasse vegetali utilizzabili in Italia a fini energetici, le caratteristiche produttive, i rapporti C/N e i valori dell'umidità alla raccolta.

Tabella 1. *Produzioni medie e rapporti C/N del prodotto principale e del residuo per alcune colture italiane*

Specie	Prodotto	Umidità media alla raccolta [%H ₂ O]	Produzione media di tal quale [t/ha]	Produzione media di sostanza secca [t/ha]	Rapporto C/N
Grano tenero	granella	12÷16	3,0÷4,0	2,5÷3,5	15÷24
	paglia	12÷15	2,1÷2,8	1,8÷2,4	118÷129
Grano duro	granella	10÷14	1,5÷2,5	1,3÷2,1	17-26
	paglia	10÷13	1,2÷2,0	1,1÷1,7	110-130
Riso	granella	18-30	4,5-5,5	3,6-3,8	32-38
	paglia	20-30	4,0-5,0	3,2-3,5	60-65
Mais	granella	20-30	6,0-7,0	4,8-4,9	23-29
	culmi	55-65	9,0-10,5	3,7-4,0	60-64
	tutoli	40-50	1,8-2,1	0,9-1,3	70-80
Barbabietola da zuccheri	radici	73-78	40,0-50,0	10,0-13,0	45-65
	foglie	75-80	16,0-20,0	3,2-4,0	13-17
Patata	tuberi	72-80	10,0-25,0	2,5-6,0	29-36
	steli	55-65	5,0-10,0	2,2-3,5	18-22
Girasole	acheni	14-20	1,5-2,5	1,3-2,2	45-58

¹³ La *borlanda* è un residuo della distillazione dei mosti alcolici fermentati da patate, cereali, melasso, ecc.), contenente sostanze utilizzabili come glicerina, acido succinico, sali potassici, cellulosa.

In Tabella 2 viene specificata la composizione chimica di alcuni prodotti legnosi, sottoprodotti colturali e scarti di lavorazione, e riportato il corrispondente Potere Calorifico Inferiore (PCI). La *borlanda* è un residuo della distillazione dei mosti alcolici fermentati (da patate, cereali, melasso, ecc.), contenente sostanze utilizzabili come glicerina, acido succinico, sali potassici, cellulosa.

Tabella 2. Sottoprodotti colturali e scarti di lavorazione: proprietà chimico-fisiche

Materiale	Umidità	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	S [%]	Cl [%]	Ceneri [%]	PCI [MJ/kg s.s.]
Paglia frumento	10-20	43,2	5,00	39,4	0,61	0,11	0,28	11,40	16,49
Paglia orzo	10-20	39,92	5,27	43,81	1,25	-	-	9,75	16,24
Paglia riso	20-30	41,78	4,63	36,57	0,70	0,08	0,34	15,90	15,34
Stocchi mais	50-60	43,65	5,56	43,31	0,61	0,01	0,60	6,26	16,52
Tutoli mais	40-50	46,68	5,87	45,46	0,47	0,01	0,21	1,40	17,58
Residui potatura vite	45-55	46,59	5,85	43,90	0,83	0,04	0,08	2,71	17,84
Residui potatura olivo	50-55	-	-	-	-	-	-	-	18,40
Residui potatura frutteti	35-45	-	-	-	-	-	-	-	18,00
Legna abete bianco	40-50	49,00	5,98	44,75	0,05	0,01	0,01	0,2	18,74
Legna pioppo	40-50	48,45	5,85	43,69	0,47	0,01	0,1	1,43	18,19
Legna quercia	40-50	49,98	5,38	43,13	0,35	0,01	0,04	1,61	18,33
Lolla riso	10-15	40,96	4,3	35,86	0,40	0,12	0,03	18,35	15,27
Gusci noce	10-20	49,98	5,71	43,35	0,21	0,05	0,04	0,71	19,02
Sanse esauste	10-15	43,73	5,29	37,82	-	0,64	-	12,52	15,50
Carta	15-20	43,40	5,80	44,30	0,3	0,2	-	6,0	18,00

Le biomasse possono essere impiegate a fini energetici utilizzando diversi processi di conversione, sia che esse derivino da colture energetiche dedicate (foreste a corta rotazione, colture alcoligene e oleaginose) ovvero siano prodotti residuali (agricoli, forestali e agro-industriali). Essi fanno riferimento a metodi **biochimici**:

- digestione anaerobica;
- fermentazione alcolica;
- digestione anaerobica;

o **termochimica**:

- combustione diretta;
- massificazione;
- pirolisi;
- carbonizzazione.

Per la scelta del processo di conversione più idoneo, per una data tipologie di biomassa, vanno presi in considerazione i contenuti di carbonio e azoto (rapporto C/N) e l'umidità presente nella materia organica da trattare.

I processi di conversione biochimica permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e microrganismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonei alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, ecc.), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei frutteti, ecc.) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

In tabella 3 sono riportati i principali tipi di biomasse con i relativi processi di conversione energetica.

Tabella 3. Biomasse utilizzabili a fini energetici e relativi processi di conversione

Tipi di biomasse	Rapporto C/N	Umidità [%H ₂ O]	Processo conversione
Piante e residui legnosi e cellulosici	C/N>30	H ₂ O≤30%	Combustione Carbonizzazione ¹⁴ Gassificazione Pirolisi
Piante e residui cellulosici e amilacei	-	H ₂ O>30%	Fermentazione alcolica
Piante e residui zuccherini	-	15≤H ₂ O≤90%	Fermentazione alcolica
Piante e residui fermentiscibili	20≤C/N≤30	H ₂ O>30%	Digestione anaerobica
Piante e residui oleaginosi	-	H ₂ O>30%	Estrazione olio
Deiezioni animali	20≤C/N≤30	70≤H ₂ O≤90%	Digestione anaerobica

¹⁴Per *carbonizzazione* si intende la trasformazione di sostanza organica in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione, con l'azione del calore, dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, eseguite nelle carbonaie, all'aperto, o, più razionalmente, in storte, ottenendo una maggior resa in carbone.

Digestione anaerobica

La digestione anaerobica è un processo di conversione di tipo biochimico, consistente nella demolizione, ad opera di microrganismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito per il 50-70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO₂ ed avente un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 kJ/Nm³. Tale processo si svolge in assenza di ossigeno, tramite lo sviluppo di popolazioni micro-organiche, in tre stadi successivi:

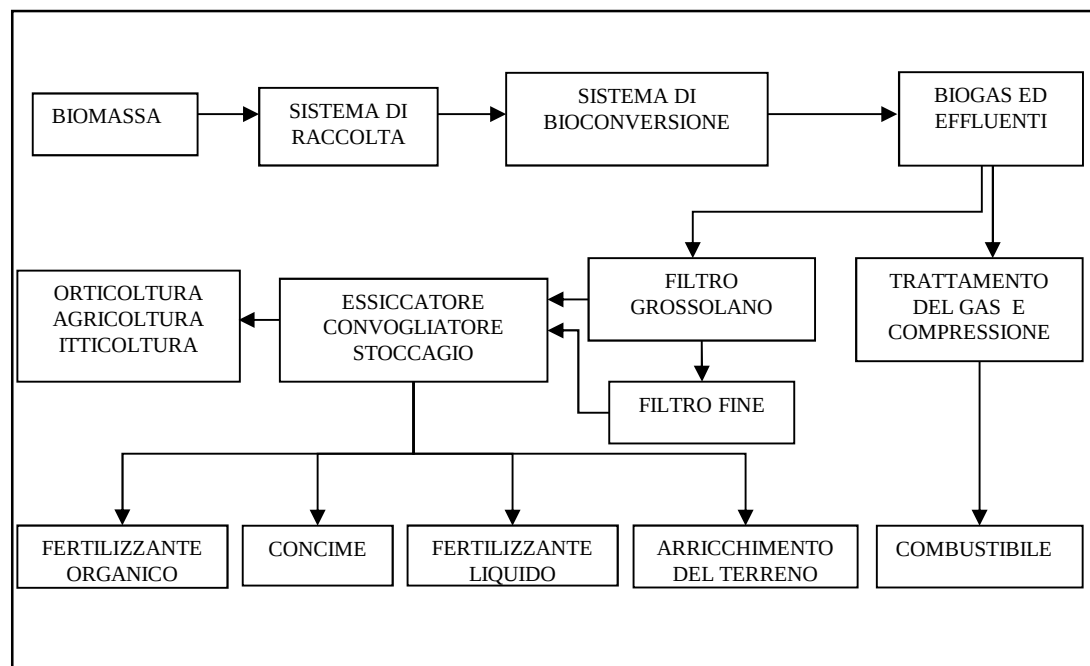
1. *idrolisi*, rottura delle grandi molecole quali cellulosa, le proteine ed i lipidi;
2. *acidificazione e fermentazione* di acidi volatili, di anidride carbonica e di idrogeno;
3. *metanizzazione* dei prodotti derivanti dal secondo stadio, per azione dei batteri metanigeni presenti.

Il processo avviene all'interno di un digestore, in cui viene immessa la biomassa (substrato) formata da sostanza secca (solidi totali) ed acqua, in concentrazioni variabili. La materia che viene demolita è il 40-60% della sostanza organica presente nel substrato, il quale deve essere mantenuto nel digestore ad una temperatura di circa 35-37 °C (digestione mesofita) per un periodo massimo di 20 giorni, che può variare a seconda delle differenti tecnologie di digestione utilizzate, della temperatura di digestione, nonché della composizione del substrato. Alcuni processi operano a temperature maggiori di 55 °C (digestione termofila) offrendo la possibilità di ottenere un maggior grado di decomposizione.

Il biogas prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato e può essere utilizzato per alimentare lo stesso processo di bioconversione, veicoli a gas, caldaie per il riscaldare l'acqua o per produrre energia elettrica. Al termine del processo di digestione, inoltre, si conservano intergri nell'effluente i principali elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio), l'effluente risulta in questo modo un ottimo fertilizzante nel quale l'azoto è in forma direttamente assimilabile dalle piante.

In figura 1 si ha il ciclo della biomassa nel processo di digestione anaerobica.

Figura 1. Ciclo della biomassa nel processo di digestione anaerobica



Teoricamente tutti i materiali organici possono essere sottoposti a digestione anaerobica, anche se, in funzione dei diversi prodotti immessi nel digestore, variano sia il tempo entro il quale il processo di digestione si verifica, sia le caratteristiche del gas prodotto. Gli impianti a digestione anaerobica possono, quindi, essere alimentati mediante residui ad alto contenuto di umidità, quali deiezioni animali, reflui civili, rifiuti alimentari e frazione organica dei rifiuti solidi urbani. Si deduce che, oltre alla produzione di biogas come prodotto e di fertilizzante come effluente, tale processo offre vantaggi in termini di gestione e smaltimento dei rifiuti, permettendo di eliminare dalle discariche i rifiuti organici, potenzialmente pericolosi a causa delle emissioni liquide e gassose, in aria, acqua e nel suolo, che producono durante la decomposizione. Inoltre, anche in discariche opportunamente attrezzate per la raccolta del biogas sviluppato, solo il 30-40% del gas generato può essere raccolto, mentre la rimanente parte viene dispersa in atmosfera: poiché il metano, di cui è in gran parte costituito il biogas, è considerato un gas serra con un effetto circa venti volte superiore a quello della CO₂, le emissioni in atmosfera di biogas non sono desiderabili; quando invece la decomposizione dei rifiuti organici è ottenuta mediante digestione anaerobica nei digestori degli appositi impianti, tutto il gas prodotto viene raccolto per essere usato come combustibile.

Fermentazione alcolica

La fermentazione alcolica è un processo, di tipo micro-aerofilo, di trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo. Interessa, quindi, tutti i prodotti e sottoprodotti agricoli ricchi di glucosio, presenti sotto forma di zuccheri, di cellulosa, di emicellulosa, di lignina, o di amido. Questi ultimi, essendo polisaccaridi, possono essere trasformati in alcool etilico previo trattamento di idrolisi, avente il compito di rompere le grandi molecole riducendole a glucosio.

In termini generali, il processo di produzione di etanolo si attua secondo lo schema seguente:

- idrolisi* rottura delle molecole di cellulosa e di amido, per ottenere glucosio;
- fermentazione* del glucosio;
- distillazione* dei prodotti fermentati per ottenere etanolo.

I rendimenti per la produzione dell'alcool etilico variano in funzione dei diversi tipi di materia prima.

L'idrolisi può essere svolta sia per via chimica che per via enzimatica, la rottura delle molecole è dovuta, nel primo caso, all'azione di acidi (cloridrico o solforico), nel secondo, all'attacco da parte di enzimi come la cellulasi, per le cellulose, e l'amilasi per gli amidi. Una delle questioni più controverse circa la produzione di etanolo è se sia maggiore la quantità di energia richiesta per trasformare la materia prima in etanolo rispetto a quella contenuta nello stesso etanolo. Un recente studio condotto negli USA ha evidenziato come, considerando una coltivazione di grano e un impianto di produzione di etanolo di efficienza media, l'energia totale utilizzata per far crescere il grano e trasformarlo in un litro di etanolo ed altri prodotti ammonta a circa 22,6 MJ. L'etanolo contiene circa 23,5 MJ per litro e l'energia immagazzinata negli altri coprodotti è pari a circa 7,7 MJ. L'energia totale posseduta, quindi, dai prodotti del processo ammonta a circa 31,2 MJ per litro di etanolo ottenuto, il guadagno in termini di energia è, dunque, di 8,6 MJ/litro di etanolo, con un rapporto tra energia entrante e uscente è di 1,38:1. Se consideriamo, invece, una situazione ideale, in cui la produzione di grano sia la più efficiente possibile, così come la sua trasformazione in etanolo, il guadagno netto sale a 16,2 MJ per litro di etanolo, per un rapporto fra energia prodotta ed energia spesa di 2,09:1. Possono sussistere condizioni in cui la produzione di etanolo non determina un bilancio energetico positivo: ad esempio, si potrebbe considerare grano coltivato con bassa efficienza con spreco di acqua di irrigazione, o cattivo sfruttamento del terreno, ecc. e trattato poi da impianti per la produzione di etanolo che non usino la cogenerazione o altri processi efficienti in termini energetici. In questi casi la produzione di etanolo potrebbe avere un bilancio negativo di circa 0,7:1. Se il mercato dell'etanolo subirà un'espansione, colture cellulosiche, più che amidacee e zuccherine, probabilmente, diventeranno la fonte primaria per la produzione di etanolo. Le colture cellulosiche, quali alberi a crescita rapida, rappresentano, infatti la filiera più interessante, in quanto usano relativamente poco fertilizzante, e necessitano di meno energia per la raccolta rispetto alle colture annuali, consentendo, quindi, di raggiungere rapporti di conversione pari a circa cinque, molto più alti di quelli ottenibili a partire da colture zuccherine e cerealicole.

Un ulteriore aspetto da considerare circa la produzione di etanolo è che essa restituisce un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna (dual fuel). Fin dall'inizio della storia automobilistica si è riconosciuto che l'etanolo, all'epoca ottenuto mediante la fermentazione della melassa delle barbabietole, è un eccellente carburante per motori a combustione interna delle autovetture. Se l'iniziale ampia disponibilità ed il basso costo degli idrocarburi hanno contribuito ad affermare in modo molto rapido l'uso di essi come combustibili, dopo lo shock petrolifero del 1973 sono stati studiati numerosi altri prodotti per sostituire sia il carburante delle auto che il gasolio per i motori diesel; oggi il crescente interesse verso i biocarburanti, è legato sia ad un fattore ambientale che economico, dato l'aumento del prezzo del petrolio, tra questi prodotti alternativi quello che mostra il miglior compromesso tra prezzo, disponibilità e prestazioni è l'etanolo, o più precisamente il suo derivato ETBE (EtilTertioButilEtere), ottenuto combinando un idrocarburo petrolifero (l'isobutene) e l'etanolo. Numerosi Paesi hanno elaborato programmi per la realizzazione di impianti di produzione di etanolo sia di grande che di piccola taglia. L'America Latina, in modo particolare il Brasile risulta la regione a maggior produzione di bioetanolo.

Negli Stati Uniti, il Clean Air Act del 1990 prevede il 2% di composti ossigenati nelle benzine. Conseguentemente il 5% del mais è stato destinato alla produzione di 3,4 milioni di m³ di etanolo per anno, con un risparmio di 40 milioni di barili di petrolio ed una maggiore occupazione, stimata in 4.400 addetti nel comparto agricolo e 3.700 nel comparto industriale.

Digestione aerobica

Il processo di digestione aerobica consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di microrganismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO₂ e H₂O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido. Negli impianti per il trattamento di fluidi (5-10% di sostanza secca) la spesa di energia per azionamento dell'agitatore del substrato, posto entro appositi contenitori, e del ventilatore per l'aria, risulta dell'ordine di 0,14-0,16 kWh/m³ di vasca. Il calore che si produce, innalzandosi la temperatura sino a massimi di 55-60°C, è dell'ordine delle 1.500 kcal/h·m³. Di esso si può recuperare circa il 40% corrispondente a 600 kcal/h·m³. Il bilancio energetico espresso come rapporto fra l'energia recuperata e quella spesa, è, dunque, pari a 4,9:1.

In Europa viene ampiamente utilizzato (soprattutto in Germania, dove sono imposti stringenti norme circa la distruzione delle sostanze patogene) il processo di digestione aerobica termofila autoriscaldata per il trattamento delle acque di scarico. Il processo necessita generalmente di un periodo di ritenzione di circa sei giorni ed è in grado di raggiungere alti gradi di stabilizzazione e distruzione dei microbi patogeni.

Estrazione di oli vegetali e produzione di biodiesel

Gli oli vegetali possono essere estratti da piante oleaginose quali soia, colza, girasole, ecc. Caratteristica comune di tutte le oleaginose è quella di essere ricche di materie proteiche le quali, dopo l'estrazione dell'olio, sono impiegabili nell'alimentazione animale sotto forma di panelli.

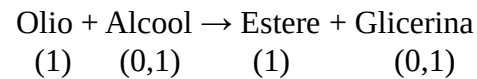
La tecnologia di estrazione consente infatti di separare le sostanze grasse dalla materia proteica che le sostiene, pervenendo all'isolamento di ciascuno di esse.

I processi tecnologici di estrazione rappresentano una successione di operazioni la cui complessità dipende dalla morfologia della materia prima.

Gli oli possono essere utilizzati come combustibili nello stato in cui vengono estratti oppure dopo esterificazione, ed il loro utilizzo ha destato ormai da tempo un notevole interesse, sia per la disponibilità di tecnologie semplici di trasformazione ed utilizzazione, sia perché consentono bilanci energetici accettabili.

Gli oli sono già stati impiegati come carburanti nei motori diesel, ma con diversi inconvenienti (deposito sugli iniettori, usura delle parti metalliche, gelificazione degli oli nei carter, produzione di elevata fumosità, aumento del consumo nel tempo): l'uso degli oli tal quali esige, dunque, una messa a punto particolare ed un impianto di alimentazione specifico.

Queste esigenze si attenuano, o spariscono, se l'olio viene trasformato in estere metilico o etilico. A partire dall'olio vegetale di colza e di girasole, il composto chimico si avvicina di più al gasolio è l'estere metilico ottenuto con la :



La reazione è catalizzata da un catalizzatore basico, avviene a temperature comprese tra 20÷80°C ed a pressione atmosferica.

Il Potere Calorifico del metilestere derivato dall'olio di colza è pari a 37.700 kJ/kg, e per la sua produzione e raffinazione sono necessari 23.800 kJ/kg con un bilancio energetico complessivo positivo pari a 1,58:1.

Dalla produzione di metilestere si ottengono, inoltre, due coprodotti principali: farine e glicerina. Le farine, ricche di proteine, derivano dal processo di estrazione dell'olio dai semi mediante triturazione e possono essere impiegate nell'alimentazione animale. La glicerina, coprodotto dell'industria chimica, invece, si forma durante il processo di transesterificazione in quantità pari al 10 % in peso dell'estere prodotto.

Il confronto delle emissioni prodotte da motori alimentati a biodiesel e a diesel fossile mostra che i gas di scarico di veicoli alimentati a biodiesel presentano valori inferiori di tutti i principali inquinanti (tranne che degli ossidi di azoto), diminuzione del particolato dall'8 al 60%, assenza di SO₂, indice di fumosità inferiore alla metà, riduzione dei 2/3 dei composti volatili e degli incombusti dal 20 all'80%, diminuzione fino al 40% della CO.

Le principali piante che si trovano in Europa sono la colza e il girasole (i principali Paesi produttori europei sono, per il colza, la Germania, la Francia, la Gran Bretagna e la Danimarca; per il girasole, la Francia, la Spagna e l'Italia); La coltivazione della soia, invece, si trova principalmente in America (Stati Uniti, Brasile e Argentina)

Carbonizzazione

La carbonizzazione è un processo di tipo termochimico, che riguarda il trattamento delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulósici, per la produzione di carbone.

In tale processo, che avviene in ambiente con quantità di aria rigidamente controllata, l'apporto di calore esterno alla sostanza organica provvede, dapprima, a essiccare la sostanza stessa, quindi ad attivare la dissociazione della materia con la produzione di frazioni solide (carbone), liquide (oli combustibili e catrame) e gassose, in percentuali differenti a seconda della temperatura alla quale si opera. Ciò avviene a partire da temperature dell'ordine di 200°C. A queste temperature si ha, soprattutto, produzione di carbone (sino all'80%), mentre per temperature più elevate si ha un progressivo aumento della frazione liquida e gassosa. In genere, nelle realizzazioni tecniche i gas ed i liquidi pirolegnosi vengono separati dal carbone, che invece resta all'interno del reattore. Il carbone, poi, può essere utilizzato sia per la combustione diretta, sia in processi di massificazione. Le parti liquide e gassose, invece, possono essere utilizzate come combustibili direttamente all'interno dell'impianto per coprire il fabbisogno energetico del processo.

Gassificazione

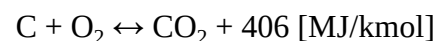
Il processo di gassificazione consiste nell'ossidazione completa di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1000°C) per la produzione di gas combustibile (syngas) di basso potere calorifico inferiore, variabile tra i 4.500 ed i 6.000 kJ/Nm³, a seconda della quantità dei suoi costituenti.

La gassificazione è un processo termochimico che avviene in una serie di fasi successive:

- essiccazione
- pirolisi
- ossidazione.

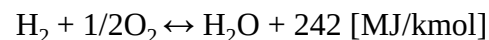
Si ha una prima fase di essiccazione durante la quale, a temperature superiori a 100°C, evapora l'umidità presente nella biomassa (5÷35%), senza che essa subisca alcuna decomposizione. A temperature superiori, dell'ordine di 300÷500°C, si ha la seconda fase, detta di pirolisi, in cui si verifica la decomposizione termica della biomassa in assenza di ossigeno. Durante la fase di pirolisi si ha produzione di carbone, catrami acidi e gas; la percentuale di tali prodotti è influenzata dalla composizione chimica della biomassa e dalle condizioni operative.

Le sostanze solide, liquide e gassose sviluppatesi durante la fase di pirolisi reagiscono con l'agente ossidante, generalmente aria, per produrre CO, CO₂, H₂ e, in quantità minore, idrocarburi gassosi. L'ossidazione avviene a temperature dell'ordine di 700÷1.000°C. La gassificazione delle sostanze carbonizzate avviene mediante una combinazione interattiva di varie reazioni gas-solido e gas-gas:

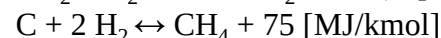
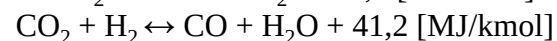
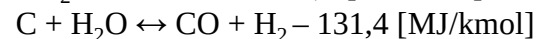
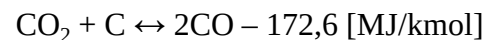


Nella reazione 12,01 kg di carbonio vengono completamente ossidati da 22,39 m³ di ossigeno, veicolati dal flusso d'aria, per fornire 22,26 m³ di anidride carbonica e 393,8 MJ di calore.

L'idrogeno presente nel combustibile reagisce con l'ossigeno presente nell'aria producendo vapor d'acqua:



Nell'ultima fase, di riduzione, avvengono varie reazioni chimiche ad alta temperatura in assenza di ossigeno. Le principali sono:



Dall'osservazione del bilancio energetico delle reazioni si nota come tale fase sia endotermica: la temperatura, dunque, diminuisce durante la riduzione. Le reazioni gas-solido sono le più lente e limitano l'intero processo di gassificazione. Molte delle reazioni sono inoltre catalizzate dai metalli del legno presenti nelle ceneri del legno, ma non raggiungono l'equilibrio. La composizione del gas è influenzata da molti fattori, fra cui la composizione della biomassa combustibile, il contenuto di acqua, le temperature di reazione, il livello di ossidazione dei prodotti di pirolisi, il tipo di gassificatore. Non tutti i prodotti liquidi derivanti dalla fase di pirolisi sono completamente convertiti, a causa delle limitazioni fisiche e geometriche del reattore e delle limitazioni chimiche delle reazioni; ciò dà luogo a presenza di prodotti condensabili nel gas prodotto. A causa delle elevate temperature raggiunte nella gassificazione, risulta difficoltoso rimuovere tali scorie con processi termici, catalitici o chimici. In particolare, l'eliminazione del catrame dal gas prodotto è uno dei compiti più onerosi che riguardano la gassificazione. La quantità del gas prodotto è riassunta nella Tabella 4, a seconda del tipo di gassificatore in cui si realizza la conversione.

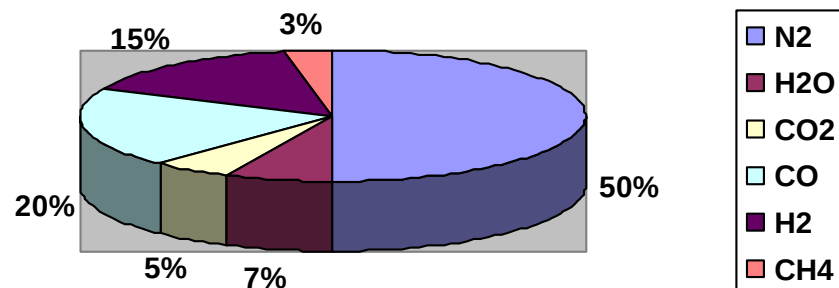
Tabella 4. Caratteristiche del gas prodotto da differenti tipi di gassificatore

Gassificazione	Potenzialità [t/h]	Requisiti biomassa ¹⁵	PCS [MJ/m ³]	Qualità gas ¹⁶	Temp. di uscita gas [C°]	Efficienz a [%]
Equicorrente (aria)	0,1-0,7	1	4,0-6,0	4	700-1000	70-90
Equicorrente (O ₂)	1-5	1	9-11	4	700-1000	60-80
Controcorrente (aria)	0,5-10	2	4,0-6,0	3	100-400	75-95
Controcorrente (O ₂)	1-10	2	8-14	3	100-700	65-85
Letto fluido (aria)	0,5-15	4	4-6	3	500-900	70-90
Letto fluido (O ₂)	2-10	4	8-14	3	700-1000	60-75
Doppio letto fluido	2-20	4	13-20	3	750-1000	65-75
Flusso trasverso (aria)	0,1-0,5	2	4,0-6,0	1	600-900	75-95
Letto in moto Orizzontale (aria)	0,0-5	5	4,0-6,0	2	300-800	60-70
Forno rotante (aria)	1-10	5	4,0-6,0	2	600-1000	70-85
Focolare multiplo	1-20	3	4,0-6,0	2	400-700	60-80
Letto fluido (vapore)	1-10	4	12-18	3	700-900	70-80
Processi secondari	-	-	-	5	>1300	85-95
Pirolisi per la produzione di gas						
Tutti i tipi	1-10	5	14-20	1	600-900	70-80

¹⁵Flessibilità: 1-meno flessibile; 5-il più flessibile

¹⁶Valutazione relativa in termini di prodotti condensabili e particolato solido nel gas:1-il peggiore;5-il migliore

Figura 2. Composizione gas di gasogeno



Combustione diretta

La combustione è l'ossidazione completa di una sostanza, che brucia in presenza di ossigeno contenuto nell'aria, che agisce da comburente. Si tratta di una reazione esotermica nel corso della quale l'energia chimica contenuta nel combustibile si libera sotto forma di calore.

Gli schemi classici prendono in considerazione quattro fasi distinte, caratterizzate da una trasformazione del combustibile: riscaldamento ed essiccazione (fino a circa 200°C), pirolisi, fase gassosa, reazioni di ossidazione del carbonio.

La fase di pirolisi (che avviene tra i 225 e i 500°) può essere definita come la distillazione distruttiva dei componenti carboniosi (emicellulosa, cellulosa e lignina) in assenza di ossigeno. Conduce alla formazione di gas, composti catramosi e carbonio allo stato quasi puro. Il gas viene successivamente bruciato nella fase gassosa (500-700°C).

Il processo di combustione viene sempre condotto in presenza di un eccesso di aria rispetto a quella teoricamente necessaria (rapporto stechiometrico pari a 5-7 m³ d'aria per kg di sostanza secca), al fine di consentire la combustione completa, che si verifica a temperature comprese tra 1.000 e 1.500°C. Tale eccesso d'aria varia in funzione dei materiali trattati e deve essere sufficientemente alto da ridurre al minimo le ceneri e da non lasciare residui incombusti; peraltro, una quantità di aria troppo elevata darebbe luogo ad eccessive dispersioni di calore nei fumi.

Nel caso di combustione di prodotti e residui agricoli il processo si attua con buoni rendimenti, se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) e con contenuti di acqua inferiori al 35%. I prodotti utilizzabili a tale scopo sono: legname, paglie di cereali, residui di raccolta di legumi secchi, di piante oleaginose (ricino, catramo, ecc.) e di piante da fibre tessile (cotone, canapa, ecc.), residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali, residui delle industrie agrarie, sanse esauste.

In tale prodotti, la materia viene completamente bruciata con produzioni di CO_2 e H_2O e di piccole quantità di SO_2 , mentre gli elementi nutritivi delle piante in particolare fosforo e potassio, restano nelle ceneri. Queste rappresentano , mediamente, il 4-7% del prodotto all'origine, nelle paglie e lo 0,3-0,6% nei prodotti legnosi.

In particolare, poi, le paglie possono essere utilizzate allo stato sfuso, in balle prismatiche, in balle cilindriche, in pellets o granulati. Ognuna di queste diverse forme fisiche influenza la scelta del tipo di caldaia in termini di sistema di alimentazione e di regolazione, oltre che di costi di produzione dell'energia e di bilancio energetico del sistema (ossia del bilancio che tiene conto anche delle spese energetiche fatte a monte del processo di combustione, per la raccolta ed il trasporto dei prodotti e per la costruzione dell'impianto).

Il legno, invece, può essere utilizzato in pezzi singoli di medie dimensioni (5-50 kg), trinciato o formellato; anche in questo caso la forma di materiale di alimentazione ha un feedback sui parametri di funzionamento delle caldaie e la loro scelta.

Il sistema di alimentazione del combustibile può essere sia continuo (meccanico) che discontinuo (manuale). L'alimentazione discontinua manuale richiede, in genere, una ricarica ogni 1,5-2 ore (nel caso di paglie e simili) e meno frequente (4 ore) usando il legno; quella continua richiede un'assistenza esigua ma comporta un maggior consumo energetico dovuto alla presenza dell'alimentatore.

La combustione di biomassa fornisce un significativo ammontare di energia, sia come calore che come energia elettrica, in tutto il mondo. Ad esempio, gli Stati Uniti e il Canada hanno circa 10.000 MW_e e 800 MW_e rispettivamente di potenza tecnica installata derivata da biomasse.

A seconda della composizione del combustibile, del progetto del sistema di combustione e delle modalità di funzionamento dell'impianto, la combustione delle biomasse può ridurre emissioni di CO, idrocarburi (CH), Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), catrame, fuliggine, particolato (particelle di incombusti, ceneri), NO_x , N_2O , HCl, SO_2 , Sali, diossine e metalli pesanti. Nel caso di biomasse, l'origine di questi composti è la seguente:

- CO: deriva dalla dinamica e dalle condizioni dei processi di combustione. Il carbonio è sempre il componente più importante della biomassa (40-50% in peso) ne consegue che la produzione di CO è da tenere sotto controllo anche in presenza di elevati eccessi di aria (ciò a causa delle inevitabili eterogeneità delle concentrazioni dei vari elementi nel letto di combustione).
- CH: il limitato contenuto di idrogeno nella biomassa fa spesso trascurare l'importanza dei composti del tipo CH; il problema è più complesso per i composti del tipo C_xH_x .
- NO_x : in generale gli ossidi di azoto dipendono in larga misura dalla temperatura di combustione ed il contenuto di azoto nel combustibile è di secondaria importanza nella loro cinetica di formazione.
- SO_x : emissione in genere trascurata, dato il basso contenuto di zolfo nei residui vegetali.

- Particolati: costituiti da particelle di combustibile tal quale e carbonizzato, sono da sempre ritenuti una emissione fortemente caratterizzante l'impatto ambientale dell'utilizzazione energetica delle biomasse.

- IPA: cioè Idrocarburi Policiclici Aromatici. Gli IPA sono condensabili e individuati tramite cromatografia. Rappresentano la frazione intermedia della vasta gamma di prodotti del tipo C_xH_y (formati da molecole che contengono dai 2-3 ai 5 gruppi di C_6H_6) presenti nelle emissioni. Gli IPA possono presentarsi allo stato volatile o assorbiti dal particolato; ciò in dipendenza della temperatura dei fumi. Molti di essi sono ritenuti cancerogeni.

- Altri: derivanti da prodotti utilizzati in agricoltura (o dall'industria di trasformazione) e assorbiti dalla biomassa (clorati, fenoli, ecc.), vanno valutati per ogni caso specifico. Talvolta, sono di origine naturale. Ad esempio la combustione della legna produce la diossina che deriva dalla reazione tra lignina e cloro, comunque, di quantità minime.

In particolare, gli incombusti (CO , idrocarburi, catrame, IPA, particolato) e gli inquinanti ossidanti (NO_x , CO_2) vengono originati dalla combustione di tutti i tipi di biomassa. HCl , SO_2 e Sali (NH_4Cl) sono, invece, prodotti da biomasse contenenti Cl e S , specificatamente, da rifiuti legnosi urbani, legname di scarto e biomasse derivate da coltivazioni a rapido accrescimento (paglia, graminacee, miscanthus). Particelle di ceneri derivano da tutti i tipi di biomasse e metalli pesanti (Pb , Zn , Cu , Cr) sono emessi da quelle biomasse che ne contengono.

Gli incombusti derivano dalla incompleta combustione e possono essere ridotti se l'aria comburente, specialmente l'aria secondaria, è uniformemente miscelata col combustibile in un ottimo rapporto e se l'accensione avviene ad alte temperature con tempi di permanenza sufficientemente lunghi. Gli inquinanti ossidati, come l' NO_x , sono soprattutto quelli dovuti all'azoto presente nel combustibile. Gli NO_x di origine termica sono di minore importanza nella combustione di biomassa, poiché la temperatura di combustione è generalmente inferiore ai $1.300^{\circ}C$.

Boschi verticali



500 pannelli fotovoltaici, insieme ad altre fonti di energia rinnovabile, garantiscono elettricità a due torri nel quartiere isola di Milano. Il progetto, ancora su carta, prevede la riqualificazione del quartiere con la costruzione di due torri residenziali, che non solo sfrutteranno energie rinnovabili, ma svilupperanno un vero e proprio bosco verticale che si sviluppa in altezza. Le torri, alte la prima 100 metri per 24 piani e l'altra 75 metri per 17 piani, ospiteranno circa 900 alberi da 3 a 9 metri di altezza (550 alberi nella torre più alta, 350 nella torre più bassa) e piante di essenza diversa, distribuite in relazione all'esposizione al sole di ogni facciata delle torri. Progettato da Boeri Studio, il bosco verticale, con la piantumazione perimetrale delle torri con alberi, arbusti e prati pensili è un esempio di riforestazione urbana, con tutti i vantaggi del verde, che produce umidità e ossigeno, assorbe anidride carbonica e polveri sottili, protegge dall'irraggiamento in estate e mitiga l'inquinamento acustico.

Solare termico nel carcere di Rebibbia

Il 7 luglio 2009, presso la casa di reclusione di Rebibbia, si è aperto il convegno d'inaugurazione dell'impianto solare termico, realizzato all'interno del carcere dagli stessi detenuti.

La realizzazione dell'impianto rientra nell'ambito del Programma nazionale di solarizzazione degli istituti penitenziari. Programma, nato nel novembre 2001 con la collaborazione tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Ministero della Giustizia DAP (Dipartimento Amministrazione Penitenziaria), con l'obiettivo di migliorare la qualità energetico-ambientale delle strutture di detenzione italiane tramite l'installazione di 5.000 metri quadrati di collettori solari termici in 5 anni. Il processo di solarizzazione nelle carceri, prevede il coinvolgimento attivo dei detenuti stessi per la gestione degli impianti tramite corsi di formazione professionale, e rappresenta quindi un'opportunità di professionalizzazione e di avviamento di attività imprenditoriale nel comparto dell'energia solare termica. Al convegno hanno partecipato Stefano Ricca, direttore del carcere CR Rebibbia, Stefania Prestigiacomo, ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, Bruno Agricola, direttore generale per la salvaguardia ambientale presso il ministero dell'Ambiente, Vincenzo Tricarico, responsabile per il ministero della Giustizia per la solarizzazione dei penitenziari, Andrea Micangeli e Vincenzo Naso del Cirps (Centro Interuniversitario di Ricerca Per lo Sviluppo sostenibile) della Sapienza. Nel corso dell'incontro, i rappresentanti dei detenuti hanno illustrato la fase realizzativa e esecutiva del lavoro.



Cina

La Cina, il più grande produttore mondiale di gas serra, corre ai ripari con un progetto ambizioso e maestoso che, rispecchia le proporzioni dei numeri cinesi sia demografici che di consumo: costruire una centrale fotovoltaica nel deserto del Qaidam Basin. La costruzione della centrale (dal 2009 al 2013) procederà a tappe: inizialmente l'installazione di una centrale con una potenza di 30 MW, nella seconda parte del progetto la centrale verrà ingrandita per arrivare alla copertura di 1 Gigawatt di energia.



Il colosso ad idrogeno di fusina



Enel, all'interno del suo piano di investimenti in energie rinnovabili, ha terminato nel 2009 le operazioni di costruzioni della prima centrale al mondo ad idrogeno, situata a Fusina, in provincia di Venezia. Il colosso a idrogeno, costruito da Enel è molto innovativo (nessun altro esemplare esiste al mondo). La centrale a idrogeno di Fusina ha una potenza di 12 MW, più altri 4 MW generati dall'uso, nell'impianto a carbone già esistente, dei gas caldi prodotti dalla turbina alimentata a idrogeno. L'energia che verrà prodotta, pari a 60 milioni di kilowattora l'anno, soddisferà il fabbisogno giornaliero di 20.000 famiglie e nello stesso tempo eviterà l'emissione in atmosfera di oltre 17.000 tonnellate di anidride carbonica (CO₂). Questo tipo di impianto, primo al mondo, è stato localizzato nell'area della centrale Enel "Andrea Palladio" proprio per la disponibilità nella zona di idrogeno, generato come sottoprodotto di alcuni cicli produttivi presenti nell'adiacente Petrolchimico di Porto Marghera (Venezia). La centrale è uno dei tanti progetti di Hydrogen Park, il Consorzio nato nel 2003 su iniziativa dell'Unione Industriali di Venezia, con il sostegno della Regione Veneto e del Ministero dell'Ambiente, allo scopo di promuovere nell'area di Porto Marghera lo sviluppo e le applicazioni delle tecnologie dell'idrogeno nel settore del trasporto e della generazione. La centrale "Andrea Palladio" è simbolo dell'impegno e della determinazione di Enel a vincere la sfida di produrre energia elettrica in abbondanza, a costi competitivi, nel rispetto dell'ambiente. L'impianto di Fusina, oltre che per la centrale a idrogeno, si distingue, infatti, per la totale ambientalizzazione del proprio ciclo produttivo e per l'utilizzo, in piena sicurezza di 70.000 tonnellate annue di Cdr, combustibile derivato dalla raccolta differenziata e dal trattamento dei rifiuti solidi urbani. Utilizzato in sostituzione del carbone per alimentare le caldaie della centrale, risulta essere un metodo efficace per recuperare energia dai rifiuti evitando così il loro deposito in discarica.

Combustibili ed emissioni inquinanti

1. I combustibili

Per combustibili si intendono abitualmente le sostanze che, per reazione con l'ossigeno, sono in grado di fornire calore; chiaramente sono maggiormente impiegati e commercializzati quelli che producono elevate quantità di energia termica per unità di massa. I normali combustibili sono costituiti sostanzialmente da carbonio o da carbonio e idrogeno (idrocarburi), ma contengono delle impurezze, spesso (specie se carbone e legna) in quantità ragguardevole, che durante la combustione possono dar luogo a composti gassosi (per es. i composti solforosi) o a residui solidi (le cosiddette ceneri). Nella precedente definizione non sono compresi i "combustibili nucleari" (dizione a rigore impropria) i quali producono energia termica per reazione di fissione o di fusione dei nuclei atomici.

1.1. Classificazione

Alcuni tipi di combustibili esistono già in natura, mentre altri sono ricavati industrialmente mediante processi chimici o fisici. In base a una prima classificazione relativa al loro stato di aggregazione distinguiamo i combustibili in: **solidi, liquidi, gassosi**.

Tra i **combustibili solidi naturali** i principali sono:

- legno
- torba
- lignite
- carbone fossile

mentre tra quelli **ricavati industrialmente** ricordiamo:

- coke (residuo che si ottiene sottoponendo il carbone fossile a un rapido riscaldamento a temperatura elevate senza contatto con l'aria)
- carbone di legna (come sopra, ma partendo dal legno)
- coke di petrolio (come sopra, ma partendo dal residuo pesante della distillazione del petrolio)
- mattonelle (ottenute unendo legno o carbone con sostanze aggreganti, spesso bituminose).

Tra i **combustibili liquidi naturali** ricordiamo:

- petrolio greggio
- oli vegetali
- mentre tra quelli **ricavati industrialmente**:
- gas di petrolio liquefatto
- benzina
- petrolio
- gasolio
- olio combustibile
- alcoli
- eteri
- esteri

Tra i **combustibili gassosi**:

- gas** naturale (essenzialmente costituito da metano)
- gas** industriali, quali il gas d'acqua ottenuto per reazione di acqua con carbone ed il gas d'aria ottenuto per parziale ossidazione del carbone
- idrogeno

Un altro modo di classificare i combustibili è **quello in base alle fonti primarie di energia**, che è molto usato nelle macrostatistiche energetiche. In esso sono presi in considerazione:

- combustibili solidi
- gas naturale
- petrolio
- energia idroelettrica
- fonti rinnovabili.

1.2. *Proprietà caratteristiche*

La principale caratteristica che individua la capacità dei combustibili di produrre calore è il **potere calorifico**. Per potere calorifico si intende la quantità di calore prodotta per unità di peso o di volume dal combustibile a seguito di combustione completa con aria o con ossigeno. Si misura in kcal/kg (o in MJ/kg), se ci si riferisce al normal metro cubo dei combustibili gassosi. Ricordiamo che la kcal è la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di un chilogrammo di acqua da 14,5 a 15,5°C.

Si distinguono due tipi di potere calorifico:

- *potere calorifico superiore*: quando si considera l'acqua, ottenuta dalla combustione, condensata a seguito della combustione, valutandone il calore di condensazione alla temperatura di 15°C

- *potere calorifico inferiore*: quando si considera l'acqua, ottenuta dalla combustione, allo stato vapore.

La differenza tra i due poteri calorifici è quindi pari al calore latente di evaporazione dell'acqua che si ottiene dalla combustione. Esistono numerosissime altre caratteristiche dei combustibili che servono ad individuare la loro idoneità all'uso specifico al quale sono destinati. Ricordiamo che le caratteristiche dei prodotti possono essere tipiche o di garanzia.

Si intendono per **caratteristiche tipiche** quelle che caratterizzano un determinato prodotto tipico di una certa categoria, mentre per **caratteristiche di garanzia** si intendono quelle i cui limiti devono essere rispettati da tutti i prodotti di quella categoria. Le caratteristiche dei combustibili naturali sono estremamente variabili specialmente quelle dei combustibili solidi che differiscono notevolmente in relazione ai tenori di sostanze volatili, impurezze e umidità in essi contenuti. Sono invece molto omogenee e ben definite, grazie all'alto livello degli impianti tecnologici utilizzati per produrli, le caratteristiche di quei combustibili ricavati industrialmente, che devono rispondere alle esigenze molto sofisticate delle macchine e degli impianti che li utilizzano (specialmente motori a combustione interna).

Riportiamo ora, a titolo indicativo, alcune indicazioni di caratteristiche per i principali tipi di combustibili. Ciò al fine di mettere in evidenza quale sia la loro capacità di dar luogo alla produzione di calore e quali siano i loro contenuti di impurezze: informazioni che servono a inquadrare il contributo che ciascun combustibile può dare all'inquinamento ambientale.

Combustibili solidi

- **Legno:** caratterizzato da un elevato contenuto di umidità che ne abbassa il p.c.i. a 2.500/3.000 kcal/kg (10,5/12,6 MJ/kg) e da un basso tenore di ceneri (qualche percento).
- **Torba:** ha un elevatissimo contenuto di acqua e un tenore di ceneri piuttosto basso (5%). Si può considerare mediamente un p.c.i. $H_i = 2.500$ kcal/kg (10,5 MJ/kg).
- **Ligniti:** ne esistono di molti tipi. Hanno contenuti elevati di acqua ed elevatissimi di ceneri (10-30%), i quali ne possono far variare il p.c.i. da 4.500 a 2.000 kcal/kg (da 19 a 8,3 MJ/kg).
- **Carbone fossile:** ne esistono numerose varietà, da quelle aventi elevato contenuto di sostanze volatili (fino al 30-40% per i carboni bituminosi e litantraci) a quelle ad altissimo contenuto di carbonio e con basse sostanze volatili (qualche percento per le antraciti). Le prime, adatte a produrre gas, hanno un valore medio di H_i pari a 7.000 kcal/kg (29 MJ/kg) e contenuti di ceneri che possono arrivare al 10-20%, mentre le seconde hanno H_i medi di 8.000 kcal/kg (33,5 MJ/kg) e contenuti di ceneri di qualche percento.
- **Coke:** si distingue in coke di cokeria, destinato alla produzione metallurgica (molto compatto e avente H_i di 7.000 kcal/kg e cioè 29 MJ/kg) e in coke di officina, ottenuto dalla produzione di gas e destinato in passato al riscaldamento domestico (meno compatto e avente H_i di 6.400 kcal/kg e cioè 26 MJ/kg). Hanno contenuti di ceneri di circa il 10%.
- **Carbone di legno:** ha p.c.i. di 7.500 kcal/kg (31,4 MJ/kg) e tenori di ceneri molto bassi.
- **Carbone di petrolio (o petcoke):** ha caratteristiche molto diverse a seconda degli impieghi cui è destinato al di fuori della combustione (produzione di nerofumo, di elettrodi). Ha p.c.i. di 8300 kcal/kg (35 MJ/kg).

Combustibili liquidi

• naturali con caratteristiche variabili:

- a seconda dei pozzi di produzione, per il **petrolio greggio:** p.c.i. medio di 10.000 kcal/kg e cioè 42 MJ/kg, densità molto variabile che influenza le rese in prodotti che si otterranno in raffineria e contenuti di zolfo variabili da 0,1% di alcuni pozzi libici e nigeriani a 3,5% di alcuni pozzi egiziani ed irakeni
- a seconda delle materie prime dalle quali vengono ricavati, per i **combustibili vegetali:** viscosità e punto di congelamento estremamente variabili, ma buoni valori medi del p.c.i. (9.200 kcal/kg e cioè 38,5 MJ/kg) e del contenuto di zolfo (inferiore a 0,1%).

•*ricavati industrialmente:*

➤dalla raffinazione del petrolio greggio: i **prodotti petroliferi**. Ricordiamo che il petrolio greggio e i prodotti petroliferi sono costituiti quasi esclusivamente da molecole di idrocarburi, formate da atomi di carbonio ed idrogeno legati tra loro in modi molto diversi a secondo della specie molecolare. Il carbonio ha 4 legami e l'idrogeno ne ha 1 (valenze).

A seconda di come sono collegati gli atomi di carbonio, esistono varie categorie di idrocarburi. La più semplice è quella paraffinica o alifatica che è costituita da una catena aperta, lineare o ramificata, nella quale gli atomi di carbonio sono collegati tra loro con un semplice legame (*idrocarburi saturi, alcani*), mentre gli altri loro legami sono saturati da atomi di idrogeno (trova esempi).

Inoltre esistono altre categorie di idrocarburi (serie omologhe):

•idrocarburi olefinici (alcheni) ed acetile (alchini), nei quali esiste rispettivamente un legame doppio o triplo (idrocarburi insaturi) tra due atomi di carbonio. Questi legami tendono facilmente a spezzarsi rendendo tali idrocarburi poco stabili;

•idrocarburi ciclici nei quali la catena di atomi di carbonio è chiusa a forma di anello, si dividono in naftenici ed aromatici.

Esistono altresì **idrocarburi policiclici** nei quali sono saldati tra loro vari anelli ciclici.

La chimica degli idrocarburi è notevolmente complicata sia dalla presenza di isomeri, ognuno dei quali ha proprie caratteristiche peculiari, sia dalla possibilità di avere molecole complete costituite da idrocarburi delle varie categorie. Per ottenere i prodotti petroliferi, il petrolio greggio viene trattato nelle raffinerie. Nel primo stadio di raffinazione esso è sottoposto ad una distillazione primaria che lo suddivide in frazioni contenenti idrocarburi che bollono entro determinate intervalli di temperature. In ordine crescente di temperature di ebollizione, per i principali prodotti orientativamente si hanno i valori indicati nella Tabella 2. 1.

Tabella 2.1. Prodotti ottenuti dalla raffinazione del petrolio

Denominazione	Atomi di carbonio	Intervallo di distillaz.	p.c.i.
GPL	3 - 4	-42 - 0 °C	11.000 kcal/kg
Benzina	4 - 11	30 – 180 °C	10.500 kcal/kg
Petrolio	9 - 16	150 –230 °C	10.300 kcal/kg
Gasolio	10 - 25	220 – 360 °C	10.200 kcal/kg

Al di sopra della temperature di distillazione di 360 °C si ricava un residuo che può essere usato come olio combustibile o che può essere sottoposto ad una distillazione secondaria sotto vuoto. Da questa si ottengono sia dei prodotti intermedi destinati ad alimentare speciali impianti di raffineria che hanno la funzione di incrementare le rese di benzine e di gasoli, sia un residuo che costituisce un olio combustibile molto pesante contenente molecole con oltre 40 atomi di carbonio ed avente $H_i = 9.800 \text{ kcal/kg}$.

Naturalmente, per ottenere le caratteristiche e le rese ottimali dei prodotti petroliferi, nelle raffinerie sono presenti numerosi impianti specifici che richiedono enormi investimenti anche per evitarne l'obsolescenza tecnologica.

Tra questi merita citare quelli di *cracking* (piroscissione) termico e catalitico, quest'ultimo realizzato con vari tipi di processi: Houdry, Cycloversion, Tee, Houdriflour, Fuvol; nonché quelli di *reforming* sulle frazioni leggere: Houdriforming, Hydroforming, Platforming, Ultraforming, Rheniforming, Hyperforming, Orthoforming. Nè si possono passare sotto silenzio altri importanti processi di raffinazione, quali *l'idrogenazione*, *l'isomerizzazione*, *l'alchilazione* e vari altri trattamenti operati sulle singole frazioni.

Per tutti i prodotti petroliferi esistono caratteristiche di garanzia ben precise. Nelle Tabelle seguenti sono riportate

Non da breve tempo vengono adoperati per i motori ad accensione comandata (e sono stati sperimentati anche per quelli ad accensione per compressione) anche combustibili ossigenati quali gli alcoli, soprattutto metilico ed etilico. E' a tutti nota l'esperienza brasiliana consistente nel distribuire, quale combustibile per automobile, esclusivamente alcool-etilico derivato dalla distillazione dello zucchero di canna e di manioca allo scopo di affrancarsi dall'importazione di petroli.

Da circa 30 anni è stata tuttavia ricercata la possibilità tecnica di mescolare tali alcoli nelle benzina in misura fino al 20%, onde ridurre il fabbisogno di derivati petroliferi e migliorare il comportamento motoristico delle benzine. Hanno però ostacolato tale intento (a parte il costo elevato degli alcoli) due importanti circostanze:

- l'incompatibilità dei circuiti di alimentazione delle usuali vetture "a benzina" ad essere alimentate con alcool o con miscele alcool-benzina senza adeguate trasformazioni, da cui consegue una limitazione nelle possibilità di trasferimento dei veicoli
- l'instabilità della miscela alcool-benzina, con rilevante tenore di alcool, a meno che non si adatti a tale combustibile non solo il circuito di alimentazione, ma anche la qualità del serbatoio e non si introducano in certa misura, nella miscela combustibile, alcoli superiori o esteri.

Al riguardo l'Unione Europea consente l'introduzione nelle benzine di un 5% al massimo di alcoli, dei quali non più del 2% metilico e del 3% etilico, con l'intento di sopperire così e senza bisogno di trasformazione dei circuiti non già a condizionamenti motoristici, ma esclusivamente a possibili temporanee deficienze negli approvvigionamenti petroliferi.

Tuttavia è innegabile l'utilità di introdurre, nella formulazione delle benzine e dei gasoli, **composti ossigenati**.

Il termine combustibili ossigenati è applicabile a diversi tipi di carburanti. Inizialmente veniva utilizzato principalmente in riferimento al programma omonimo statunitense per la riduzione dell'inquinamento da ossido di carbonio (CO). In seguito quasi tutte le benzine hanno cominciato a contenere diverse percentuali di composti ossigenati al fine di migliorarne le caratteristiche ottiche.

Una benzina "ossigenata" diviene tale per aggiunta di un alcool o di un etere. Il tipo di alcool più utilizzato è l'etanolo C_2H_5-OH), mentre l'etere più adottato è il metil-terz-butil etere (MTBE). Altri composti ossigenati, quali l'etil-terz-butil etere (ETBE) ed il terz-amil-metil etere (TAME) o l'alcool butilico terziario (TBA) si sono iniziati ad impiegare più recentemente nella riformulazione delle benzine.

Anche per la trazione diesel possono venire utilizzati composti ossigenati: questi, come vedremo, sono esteri: le categorie chimiche interessate sono quindi sostanzialmente 3:

Alcoli $RO-OH$, Eteri R_1-O-R_2 , Esteri $R_1-COO-R_2$

Introduciamo brevemente i più comuni combustibili ossigenati:

Etanolo

L'etanolo (C_2H_5-OH) viene ampiamente utilizzato ed è disponibile nella maggior parte degli Stati Uniti, ma, poiché renderlo economico significa oggi agevolarlo con speciali sussidi governativi, in Europa non viene impiegato direttamente: il suo uso sta invece nella sua conversione in etere (ETBE).

L'etanolo ha avuto una continua crescita in USA come componente delle benzine fin dai tardi anni '70, quando veniva utilizzato come fonte energetica alternativa per fronteggiare le limitazioni dovute alla crisi petrolifera. Più tardi, quando la disponibilità di benzina divenne meno critica l'etanolo iniziò a venire utilizzato come miglioratore ottanico.

L'etanolo è utilizzato in circa il 10% delle benzine commercializzate negli USA, percentuali elevate non solo non sono ammesse per legge negli USA, ma il costo del prodotto, assai più elevato di quello della benzina base, nonché alcune controindicazioni tecniche, ne scoraggerebbero un impiego eccessivo in ogni caso. Esso ha grande affinità per l'acqua e tende a formare una miscela ternaria acqua- alcool-composti idrocarburici (benzina base) che in molte condizioni (% reciproche e temperature) non è stabile e dà luogo a separazione di fase che può provocare seri problemi al motore. Anche per tale motivo l'utilizzo dell'alcool si è sviluppato in USA (dove il circuito di distribuzione e stoccaggio è appositamente studiato per tenere sotto controllo i depositi di acqua), ma non in Europa, dove la legge lo limita al 5% ed in pratica non è contenuto in nessuna delle benzine in commercio.

L'aggiunta del 10% in volume di etanolo al combustibile contribuisce tipicamente aumentando di circa 2,5 punti ottanici la miscela finita. Un altro effetto indesiderato dell'etanolo è quello di aumentare la tensione di vapore della benzina costringendo il raffinatore ad apportare altre modifiche per rispettare i limiti di legge imposti a quest'ultima caratteristica (un prodotto che evapori più facilmente tende infatti a disperdersi maggiormente in atmosfera). Il contenuto approssimato di ossigeno nell'alcool etilico è del 35%, così che se contenuto al 10% nel prodotto finito apporta il 3,5% in massa di ossigeno.

Metanolo

Il metanolo, o alcool metilico ($\text{CH}_3\text{-OH}$), sebbene a volte confuso con il composto precedentemente descritto, presenta, rispetto a quello, caratteristiche completamente differenti e assai meno desiderabili. Il $\text{CH}_3\text{-OH}$, infatti, pone problemi ancora più gravi di intolleranza alla presenza di acqua nel combustibile. Esso è assai peggiore anche per la sua elevata volatilità, l'inferiore potere calorifico e, non ultimo, presenta un'elevatissima tossicità. Questo alcool, inoltre, non provenendo generalmente da fonti agricole, non è supportato dalle ragioni strategiche o sociali alla base dell'utilizzo di etanolo.

TBA (Terz-Butil-Alcol)

Questo alcool, un co-prodotto della fabbricazione di ossido di propilene, viene utilizzato sia direttamente nella formulazione della benzina (specialmente in Germania, dove il sistema di distribuzione dei carburanti è a prova d'acqua), sia come prodotto di partenza per fare l'MTBE.

MTBE (Metil-Terz-Butil-Etere)

La produzione di questo etere ha visto una crescita eccezionale durante gli ultimi 15 anni, diventando non solo il combustibile ossigenato di gran lunga più noto ed utilizzato, ma anche uno tra i prodotti di larga scala più studiati. Come nel caso dell'etanolo, esso veniva originariamente utilizzato come miglioratore ottanico ed oggi esso viene impiegato praticamente da tutte le maggiori compagnie petrolifere in almeno alcune delle loro benzine. In funzione ottanica l'etere viene normalmente impiegato in concentrazioni del 6-8% in volume, nelle benzine cosiddette "ossigenate" al 15%, mentre nelle "riformulate" intorno all'11%. Quando utilizzato in buone percentuali, l'MTBE contribuisce con 2,5-3 punti ottanici alla miscela finale; esso non è sensibile alla presenza d'acqua e, invece di peggiorarla, migliora la volatilità (la riduce) della benzina. L'MTBE viene prodotto per azione chimica tra il metanolo e l'isobutilene. La conversione di metanolo ad MTBE elimina le caratteristiche indesiderabili associate con l'alcool ed il prodotto finale non ne contiene.

ETBE (Etil-Terz-Butil-Etere)

Solo recentemente l'ETBE ha visto un qualche livello apprezzabile di utilizzo commerciale. Vari programmi di valutazione hanno dimostrato che le caratteristiche prestazionali dell'ETBE sono simili a quelle dell'omologo più leggero (MTBE). L'ETBE viene prodotto per reazione dell'etanolo con l'iso-butilene, ed esso contribuisce a ridurre la volatilità del combustibile finito.

TAME (Terz-Amil-Metil-Etere)

Qualche raffineria ha recentemente iniziato ad utilizzare questo etere, la cui caratteristica principale, rispetto ai due sopra descritti, è quella di abbassare notevolmente la volatilità della miscela finale. A oggi esso è utilizzato in misura molto ridotta e la sua produzione parte da metanolo ed iso-amilene.

Altri

Sebbene l'impiego di altri tipi di prodotti ossigenati sia permesso, esso è improbabile; questo sia a causa degli alti costi di produzione sia ad un apporto insoddisfacente di qualità al carburante finito.

Vantaggi

Il beneficio primario dei composti ossigenati è la loro prerogativa di fornire ossigeno e contribuire al numero di ottano del carburante al quale vengono addizionati.

L'ossigeno "intrinseco", cioè interno al carburante stesso, ha diversi effetti positivi, di cui forse il principale è quello di permettere una maggior completezza della reazione di combustione, rendendola conseguentemente più pulita. In pratica la maggior parte dei prodotti indesiderabili emessi allo scarico dell'autoveicolo - ossido di carbonio (CO), idrocarburi incombusti (HC), il cancerogeno benzene (C₆H₆), e molti altri - viene sostanzialmente ridotta tramite l'ossigenazione. Di non minore rilevanza è la riduzione delle emissioni di quei composti precursori della formazione di ozono al livello del suolo.

Esteri

Sostanzialmente ricadono in questa categoria i cosiddetti "biodiesel"; questo è il nome commerciale di prodotti ottenuti per reazione chimica tra il metanolo e certi olii vegetali, allo scopo di utilizzarli per l'alimentazione di propulsori diesel. Non si tratta di un prodotto puro, ma di una miscela di molti metil-esteri di olii vegetali. Il tipo di base vegetale di partenza, poi, dipende dalla disponibilità e dal prezzo relativamente al tipo di impianto trasformatore.

RME

L'etere più utilizzato in Europa risulta essere l'RME o RSME (Metil-Estere da Rapa), che è anche il più sperimentato. Come per gli altri prodotti di questa categoria la principale considerazione alla base del suo (finora peraltro limitato) sviluppo è quella di "fonte rinnovabile" di energia.. In pratica l'idea sarebbe quella di ridurre la dipendenza del greggio e, soprattutto, di non intaccare troppo le riserve fossili non reintegrabili. Inoltre si ridurrebbero le emissioni globali di biossido di carbonio (CO₂), in quanto il vegetale avrebbe assorbito all'origine tale composto per il proprio sviluppo biologico. In pratica la discussione scientifica è ancora aperta al proposito, poiché il calcolo dell'impatto sia energetico sia ecologico globale è complicato e dipendente da molti fattori variabili. In sostanza oggi è possibile una commercializzazione di questi prodotti (come nel caso dei derivati dell'alcool etilico) solo a fronte di un sussidio governativo.

Combustibili gassosi

Il prodotto di gran lunga predominante, perché fonte primaria di energia molto diffusa in natura, è il gas naturale.

Gas naturale, costituito principalmente da metano può essere:

- secco**, se contiene solo piccole percentuali di anidride carbonica e di azoto
- umido**, se in esso è presente anche una limitata quantità di idrocarburi leggeri.

Il gas naturale secco ha un p.c.i. medio di 8.250 kcal/nm₃ (34,5 MJ/m₃), mentre quello umido ha un p.c.i. che può raggiungere le 9.000 kcal/nm₃ (37,5 MJ/m₃).

Il gas naturale secco, ottenuto con trattamenti di purificazione, è quello normalmente utilizzato e non presenta sostanzialmente impurezze che possano dar luogo, durante la combustione, a sostanze nocive.

Il gas naturale destinato ad alcuni impieghi viene compresso (CNG: compressed natural gas) a pressioni molto elevate: 200 bar (20 MPa). In tal modo si aumenta la sua densità a 0,18 kg/l e quindi si riesce ad elevare la sua energia per unità di volume a 2.100 kcal/l (8,8 MJ/l). Sotto forma di CNG è possibile utilizzare il gas naturale nell'autotrazione anche se l'autonomia del veicolo, a parità di volume del serbatoio, è minore di quella dell'analogo veicolo alimentato a benzina o gasolio (rispettivamente 1/4 ed 1/5 circa).

Il gas naturale viene anche liquefatto (LNG: liquefied natural gas). Il gas naturale viene utilizzato sotto forma di LNG sia per essere trasportato su lunghissime distanze in speciali navi metaniere sia in fase sperimentale quale combustibile per l'autotrazione, per aumentare la quantità di energia contenuta nel serbatoio. L'LNG ha p.c.i. di 12.000 kcal/kg (50,2 MJ/kg) e punto di ebollizione di -164°C. Il suo contenuto energetico per unità di volume è di circa 5.600 kcal/l (23,3 MJ/l) e quindi molto migliore di quello del CNG e non molto lontano da quello dei prodotti petroliferi.

Esistono poi altri tipi di combustibili gassosi ottenuti per gassificazione o pirolisi di carbone o di olio combustibile, attualmente utilizzati per lo più in applicazioni interne dell'industria, quali:

- gas d'acqua
- gas d'aria
- gas di cokeria.

Ricordiamo infine, tra i combustibili gassosi:

Idrogeno. In prospettiva, date le sue caratteristiche di estrema purezza, potrà diventare il combustibile del futuro se si riuscirà a superare tutta una serie di difficoltà tecnologiche, tra le quali quelle di "stoccaggio" e di distribuzione e le problematiche relative al costo di produzione. Il p.c.i. dell'idrogeno è di 2.570 kcal/nm³ (10,8 MJ/m³_n) allo stato gassoso e di ben 28.700 kcal/kg (120 MJ/kg) allo stato liquido (ricordando però che la temperatura di liquefazione dell'idrogeno è di -253°C si possono facilmente immaginare le sue difficoltà di conservazione e di manipolazione).

2. L'inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico può derivare, come detto da emissioni inquinanti di origine naturale (per es. gas di palude e anidride carbonica) e da emissioni inquinanti dipendenti dall'uomo (antropogeniche). Solamente di queste ultime qui ci occuperemo.

Abbiamo visto che i combustibili comunemente usati per generare energia calorifica o meccanica sono sostanzialmente costituiti da carbonio ed idrogeno e che possono contenere percentuali molto variabili di impurezze.

Dalla combustione ideale completa dei due componenti principali dei combustibili e cioè carbonio e idrogeno, si ottengono rispettivamente anidride carbonica e vapore d'acqua.

Nella realtà la combustione di questi due elementi non è mai ideale perchè c'è sempre qualche frazione che brucia con difficoltà a causa di:

- troppo poco tempo di combustione
 - temperature e pressioni di combustione diverse da quelle ottimali
 - cattiva miscelazione tra il combustibile e l'aria comburente (peggiore per i prodotti solidi ed ottimale per i prodotti volatili).
- Conseguentemente si ha formazione di prodotti di combustione parziale che possono avere caratteristiche inquinanti e che si vanno ad aggiungere ai prodotti di combustione delle impurità presenti nei combustibili.
- Dalla combustione, incompleta dei combustibili o dalle impurità in essi contenute può avere origine tutta una serie di inquinanti che sono principalmente quelli indicati di seguito.

Monossido di carbonio (CO)

Gas derivante dalla combustione incompleta del carbonio presente nei combustibili.

Composti ossigenati dell'azoto (NO_x) o ossidi di azoto

Hanno origine non dai combustibili, ma dai processi di combustione perchè, alle alte temperature che si raggiungono durante la combustione, l'azoto e l'ossigeno presenti nell'aria comburente reagiscono tra loro dando luogo alla loro formazione.

Composti organici volatili (COV, o VOC in lingua inglese)

Composti organici sufficientemente volatili da causare emissioni nell'atmosfera per evaporazione. Possono avere origine sia dalla dispersione nell'atmosfera del gas naturale e delle frazioni più volatili dei combustibili durante lo stoccaggio e la movimentazione, sia dai prodotti idrocarburi e dai loro composti che si possono formare durante la combustione.

Ozono (O_3)

Gas derivato dalla modifica della molecola dell'ossigeno che si può realizzare in seguito alla reazione dei composti organici volatili con gli ossidi di azoto. Ricordiamo che tra i composti organici volatili quelli più reattivi nel dar luogo a formazione di O_3 sono: formaldeide, 2pentene, 2metil2butene, acroleina, paraxilene, acetaldeide, 2metilbutene, 4metilpentene, molti dei quali appartengono alla categoria delle olefine.

Composti ossigenati dello zolfo (SO_x)

Derivano dalla combustione dello zolfo presente nei combustibili. Notevoli sforzi sono stati fatti nelle raffinerie per ridurre la percentuale di zolfo presente nei prodotti petroliferi, in particolare per quelli distillati. Gli impianti che bruciano olio combustibile (che non sia BTZ) o carbone debbono ridurre le emissioni di SO_x mediante impianti di desolforazione dei fumi (che possono dare abbattimenti tra il 50 ed il 90%).

Particolati

Sono costituiti da particelle molto fini che restano sospese nell'atmosfera. Traggono origine da una cattiva combustione delle parti carboniose dei combustibili e dalle impurezze solide in essi presenti. Sono anche comprese le polveri fini di carbone che si disperdono nell'atmosfera durante lo stoccaggio e la movimentazione dei carboni.

Anidride carbonica (CO_2)

Gas prodotto dalla combustione completa del carbonio contenuto nei combustibili. Non se ne può ridurre l'emissione se non riducendo le quantità di combustibili bruciati o privilegiando quei combustibili che nella loro composizione hanno i più alti rapporti del contenuto di idrogeno rispetto al carbonio.

Si può mediamente stimare che, a parità di calore prodotto durante la combustione e fatta uguale ad 1 la produzione di anidride carbonica (CO_2) del metano, per altri combustibili si hanno i valori indicati nella Tabella 2.2.

Tabella 2.2. Produzione di anidride carbonica durante la combustione

Tipo di combustibile	Produzione di CO_2 rispetto al metano
Carbone	1,65
Olio combustibile	1,40
Gasolio	1,31
Benzina	1,27
GPL	1,10
Gas naturale	1,0
Idrogeno	0

Esistono poi altri inquinanti che, pur essendo già compresi nelle categorie sopra indicate, vengono presi in particolare considerazione a causa della loro pericolosità per la salute. Tra essi ricordiamo il benzene e il piombo.

Benzene

Composto organico volatile che è contenuto in alcuni combustibili e può evaporare durante lo stoccaggio e la movimentazione, o che si può formare durante la combustione (specie delle benzine).

Piombo

E' compreso tra i particolati e deriva dall'additivazione antidetonante delle benzine. E' in rapida diminuzione in conseguenza dell'introduzione della benzina senza piombo in sostituzione alla super.

Tutti questi inquinanti continuano ad essere attentamente studiati per meglio accertarne le caratteristiche tossicologiche nel breve e nel lungo periodo. Inoltre per alcuni di essi (in particolare per biossido di azoto, monossido di carbonio, anidride solforosa, particolato, ozono) si vanno estendendo delle reti di monitoraggio in varie città italiane che, oltre ad un compito generale conoscitivo, hanno quello specifico di segnalare quando si stanno raggiungendo valori della loro presenza nell'aria pericolosi per la salute pubblica, in modo che le autorità possano intervenire con opportuni provvedimenti tampone per ridurre l'inquinamento. I valori considerati per tali inquinanti prevedono due limiti: una 1^a Soglia di attenzione ed una 2^a Soglia di allarme.

2.1. Inconvenienti legati alla presenza degli inquinanti

Per quanto riguarda la pericolosità delle citate categorie di inquinanti osserviamo quanto segue:

monossido di carbonio (CO): va a legarsi con l'emoglobina del sangue ostacolando l'ossigenazione dell'organismo e pertanto a elevate concentrazioni causa asfissia;

composti ossigenati dell'azoto (NO_x): causano disturbi respiratori soprattutto nei soggetti più a rischio (bambini, asmatici, anziani). Contribuiscono alle deposizioni acide ed inibiscono la crescita delle piante. Reagendo con i composti organici volatili, in presenza di raggi solari, danno luogo alla formazione di smog fotochimico ed alla formazione secondaria di ozono (O_3);

- composti organici volatili (COV)*: reagendo con gli ossidi di azoto (NO_x), in presenza di raggi solari danno luogo alla formazione di smog fotochimico ed alla formazione secondaria di ozono (O_3). Alcuni componenti dei COV sono inibitori della crescita delle piante. Tra i COV sono compresi alcuni idrocarburi o loro composti ossigenati aventi proprietà solventi i quali, ad alte concentrazioni, possono avere influenza sui reni, fegato e sistema nervoso. Nei COV possono essere anche presenti alcuni idrocarburi tossici o potenzialmente cancerogeni. Tra questi ultimi citiamo il benzene che, data la sua pericolosità, verrà trattato a parte, il 1,3-butadiene (a volte presente in bassissime percentuali nei GPL e nelle benzine e che si può formare durante la combustione) oltretutto in particelle emesse dal contatto pneumatico-strada, essendone le ruote dei veicoli un'inesauribile sorgente, e gli idrocarburi policiclici aromatici che si trovano in alcune categorie di carboni, nei gasoli e negli olii combustibili, ma che si possono anche essi formare durante i processi di combustione. Alcuni di questi ultimi, quale il benzo(a)pirene e quelli policondensati aventi da 4 a 6 anelli, sono risultati cancerogeni in prove su animali;
- ozono (O_3)*: come già detto si forma dalla reazione, in presenza di raggi solari tra gli NO_x ed i COV. E' un generico ossidante che causa forte irritazione alle mucose, dolori toracici e cefalee, danneggia i materiali ed inibisce la crescita delle piante;
- composti ossigenati dello zolfo (SO_x)*: sono irritanti e causano le piogge acide, con degrado dei monumenti, acidificazione dei terreni e dei laghi e rinsecchimento delle piante;
- particolati*: la loro pericolosità dipende dalla loro composizione e dal loro tipo. I più pericolosi sono i particolati di dimensioni più piccole (inferiori a 10 micron), che possono rivestirsi di composti solforati e di composti policiclici aromatici che pur presenti in percentuali inferiori allo 0,1% possono essere cancerogeni; inoltre alcuni componenti dei particolati, come i metalli pesanti, sono tossici. Tralasciando di parlare dei composti dei particolati emessi dalla combustione del carbone, data la loro estrema variabilità per quanto riguarda quelli degli olii combustibili pesanti ricordiamo i composti di nichel e di vanadio. Tali metalli pur essendo contenuti normalmente in concentrazioni inferiori rispettivamente a 25 ppm e 50 ppm nei greggi, si concentrano negli olii combustibili e possono addensarsi nel particolato fino a valori del 2% per il nichel e del 10% per il vanadio. Rammentiamo che il nichel è anche sospetto di essere cancerogeno;

• *anidride carbonica (CO₂)*: pur non essendo un prodotto tossico, è pericolosa perché viene considerata la causa principale dell' "effetto serra" andando a contribuire alla riduzione della riflessione delle radiazioni infrarossi dalla terra verso l'universo. Ciò crea un accumulo di energia che contribuisce all'aumento della temperature terrestri, che nel lungo periodo potrebbe avere effetti disastrosi sulla desertificazione sullo scioglimento delle calotte polari e conseguente innalzamento del livello dei mari. In realtà le conseguenze dell'effetto serra sono ancora molto dibattute. Il fenomeno è molto complesso perché all'effetto serra contribuiscono in misura notevole anche altri gas che si addensano nella stratosfera quali i clorofluorocarburi, il metano e gli ossidi di azoto. Per quanto riguarda la CO₂ si deve tener conto che ci sono enormi scambi atmosferici di questo gas. Nel 1990 si è stimato che la CO₂ coinvolta in scambi biologici (fotosintesi, respirazione, degrado dei vegetali) fosse ammontata a 60 x 10¹² t di carbonio equivalente, mentre quella coinvolta in scambi atmosfera/mari a 90 x 10¹² t di carbonio equivalente. Nello stesso anno la quantità di CO₂ prodotta da attività umane era ammontata a 8 x 10¹² t di carbonio equivalente, delle quali 2 derivanti da deforestazione e 6 da combustione di combustibili fossili (approssimativamente 40% da petrolio, 40% da combustibili solidi e 20% da gas naturale). Le emissioni di CO₂ derivanti da cause antropogeniche, come risulta da quanto sopra esposto, sono molto inferiori a quelle naturali; si deve però tener presente che esse sono in continuo aumento e pertanto per prudenza, in attesa che la fenomenologia venga meglio chiarita si è deciso a livello mondiale di porvi delle limitazioni. L'Unione Europea contribuisce con circa il 16% alle emissioni globali di CO₂ derivanti da combustibili fossili. Nell'ambito di un accordo mondiale, sottoscritto nella conferenza di Kyoto, tenutasi alla fine del 1997, è stato stabilito che nel 2010 le emissioni di gas ad effetto serra dovranno globalmente ridursi del 5,2% rispetto a quella del 1990. I contributi più alti a tali riduzioni saranno quelli dell'Unione Europea con l'8%, degli USA con il 7% e del Giappone con il 6%. A tal fine è allo studio una tassa, la carbon tax, che dovrebbe incidere sul consumo dei combustibili fossili, incentivando pertanto le fonti energetiche rinnovabili;

• *benzene*: è un prodotto tossico e cancerogeno, in particolare, è una delle cause delle leucemie;

• *piombo*: è stato messo sotto accusa perché danneggia il tessuto nervoso, specie nei bambini.

Tutti questi inquinanti continuano ad essere attentamente studiati per meglio accertarne le caratteristiche tossicologiche nel breve e nel lungo periodo.

Inoltre per alcuni di essi (in particolare per biossido di azoto, monossido di carbonio, anidride solforosa, particolato, ozono) si vanno estendendo delle reti di monitoraggio in varie città italiane che, oltre ad un compito generale conoscitivo, hanno quello specifico di segnalare quando si stanno raggiungendo valori della loro presenza nell'aria pericolosi per la salute pubblica, in modo che le autorità possano intervenire con opportuni provvedimenti tampone per ridurre l'inquinamento. I valori considerati per tali inquinanti prevedono due limiti: una 1^a Soglia di attenzione ed una 2^a Soglia di allarme. I valori sono indicati nella tabella 2.3.

Tabella 2.3. Valori limite per alcuni inquinanti

Inquinante	Tempo (ore)	1 ^a Soglia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2 ^a Soglia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Biossido di azoto	1	200	400
Monossido di carbonio	1	15(mg/m^3)	30
Anidride solforosa	24	125	250
Particolato	24	150	300
Ozono	1	180	360

Tutti questi inquinanti continuano ad essere attentamente studiati per meglio accertarne le caratteristiche tossicologiche nel breve e nel lungo periodo.

Inoltre per alcuni di essi (in particolare per biossido di azoto, monossido di carbonio, anidride solforosa, particolato, ozono) si vanno estendendo delle reti di monitoraggio in varie città italiane che, oltre ad un compito generale conoscitivo, hanno quello specifico di segnalare quando si stanno raggiungendo valori della loro presenza nell'aria pericolosi per la salute pubblica, in modo che le autorità possano intervenire con opportuni provvedimenti tampone per ridurre l'inquinamento.

I valori considerati per tali inquinanti prevedono due limiti: una 1^a Soglia di attenzione ed una 2^a Soglia di allarme.

2.2. Principali interventi tecnologici per ridurre l'inquinamento causato dai combustibili

Non entreremo nel merito dei vari dispositivi di abbattimento delle emissioni nelle apparecchiature utilizzatrici, che verranno trattati nei capitoli specifici (per es. marmitte catalitiche e dispositivi per evitare l'evaporazione di carburante dai serbatoi delle vetture, dispositivi per abbattere particolato e fumi inquinanti dai grandi impianti termici ecc.), ma vogliamo ricordare alcuni dei principali interventi strettamente connessi con i combustibili.

Già nella fase di raffinazione del petrolio greggio si tende a eliminare una serie di impurezze sia mediante particolari processi di estrazione (per es. lo zolfo negli impianti di desolforazione, il benzene mediante impianti di estrazione del benzene) sia concentrando alcune impurezze in prodotti (quali il bitume) destinati ad uso diverso dalla combustione.

Da un *survey* eseguito nel 1992 su 85 raffinerie europee (che lavorano l'81% del greggio trattato nell'Europa Occidentale) è risultato che dello zolfo totale contenuto nel greggio (in media l'1,5%) entrato nelle raffinerie, quello uscito da esse era così ripartito:

•zolfo sotto forma di emissioni di SO ₂ dagli impianti di raffinaria	8%
•zolfo contenuto nei prodotti distillati	14%
•zolfo contenuto nell'olio combustibile	26%
•zolfo contenuto nel combustibile Bunker per navi	11%
•zolfo recuperato	27%
•zolfo rimasto nei prodotti non destinati alla combustione (per es. bitumi, olii lubrificanti, cariche per la chimica)	14%

Pertanto solamente la somma delle tre prime righe dà la percentuale di zolfo che viene immesso nell'atmosfera terrestre. Il rimanente 11% viene bruciato nella combustione su navi (bunkeraggio) o, per oltre il 40%, viene sottratto dalle raffinerie all'immissione nell'atmosfera.

Ma anche nelle fasi di stoccaggio e di distribuzione si è molto attenti a limitare l'inquinamento, specialmente riducendo drasticamente le perdite di prodotti volatili.

Infatti per le benzine esistono tutta una serie di accorgimenti per limitare le perdite per evaporazione.

I grandi serbatoi di benzina esistenti nelle raffinerie e nei grandi depositi di stoccaggio sono dotati di tetto mobile, in modo da seguire le variazioni di livello conseguenti al riempimento ed allo svuotamento, senza che si abbiano perdite di vapori.

Inoltre nel caricare le ferrocisterne e le autocisterne destinate al trasporto delle benzine si utilizza un sistema di riempimento dal basso in modo da evitare spruzzi di benzina e comunque dispersioni di vapori all'esterno.

Da alcuni anni è stato anche introdotto il cosiddetto **Stadio 1**, che consiste nel rifornire i serbatoi, esistenti presso i punti vendita stradali, mediante un sistema a ciclo chiuso: man mano che si pompa benzina dall'autobotte all'interno del serbatoio i vapori di benzina presenti nel serbatoio stesso vengono aspirati dall'autobotte. Questa li restituisce, al momento del rientro al deposito principale, a un'apparecchiatura che li ritrasforma in benzina.

Di recente introduzione è lo **Stadio 2** che serve a recuperare i vapori di benzina dai serbatoi delle vetture che fanno rifornimento. Infatti la pistola erogatrice di benzina è dotata di una doppia tubazione: una per erogare benzina al serbatoio della vettura, un'altra per aspirare contemporaneamente il vapore ivi presente, inviandolo nel serbatoio del punto vendita da dove verrà successivamente recuperato mediante lo Stadio 1.

2.3. Le azioni dell'Unione Europea per ridurre l'inquinamento

Il Single European Act all'Articolo 130 R stabilisce i seguenti obiettivi di larga massima:

- preservare, proteggere e migliorare la qualità dell'ambiente
- contribuire alla salvaguardia della salute umana
- usare con prudenza e razionalità le risorse naturali

In effetti l'Unione Europea fin dall'inizio si è preoccupata di dare un'attuazione pratica a tali principi, emettendo Direttive e Raccomandazioni dirette agli Stati Membri per migliorare la qualità dell'ambiente. In questo capitolo faremo esclusivamente riferimento alle principali deliberazioni dell'Unione Europea in relazione ai prodotti combustibili.

Al 20/3/1985 risale la Direttiva che introduceva la benzina senza piombo in Europa e che riduceva drasticamente il contenuto di piombo nelle benzine già in uso.

Al 5/12/1985 risale quella relativa alla regolamentazione del contenuto di composti ossigenati che potevano essere aggiunti alle benzine.

Successivamente sono state poste varie limitazioni ad alcune caratteristiche dei prodotti petroliferi destinati all'autotrazione, che potevano essere causa diretta di inquinamento o indiretta, perché non favorivano la realizzazione di motori più puliti da parte delle industrie motoristiche.

Relativamente ai grandi impianti di combustione, in particolare, è ora allo studio una Direttiva che è impostata in forma estremamente limitativa delle emissioni di SO_2 ed NO_x .

Per quanto riguarda invece le emissioni derivanti dall'autotrazione, attualmente è in vigore la **Direttiva** predisposta dalla commissione Europea, **entrata in vigore nell'anno 2000**, che tra l'altro prevede:

per le benzine:

- forte riduzione del contenuto di benzene
- limitazione dei composti organici
- riduzione del contenuto di zolfo
- riduzione della volatilità

concessione di poter utilizzare una maggiore percentuale di composti ossigenati per contribuire alla riduzione dello smog fotochimica in aree particolarmente inquinate

per i gasoli:

- riduzione del contenuto di zolfo
- miglioramento del numero di cetano per permettere la progettazione di motori diesel con migliori caratteristiche di combustione, specie in fase di avviamento
- limitazione dei composti policiclici aromatici

La Commissione Europea prevede inoltre che dal 2000 si abbiano le seguenti riduzioni medie sui prodotti distribuiti sul mercato, rispetto ai valori che si avrebbero in assenza di limitazioni:

per le benzine:

- benzene: riduzione da 2,3% a 1,6%
- zolfo: riduzione da 300 a 150 ppm
- volatilità RVP: riduzione da 68 a 58 kPa

per i gasoli:

- numero di cetano: miglioramento da 51 a 53
- composti policromatici: riduzione dal 9 al 6%
- zolfo: riduzione da 450 a 300 ppm.

Gli effetti del pacchetto globale di misure proposte dalla Commissione Europea su **veicoli, combustibili, revisioni del parco di veicoli** dovrebbero, secondo la Commissione stessa, permettere le seguenti **riduzioni delle emissioni** che si avrebbero **nel 2010** rispetto alle emissioni ottenibili, sempre nel 2010, in assenza delle misure proposte dalla Commissione:

- ossidi di azoto: 39%
- ossido di carbonio: 51 %
- benzene: 48%
- articolato 39%
- composti organici volatili totali:46%

Con ciò si dovrebbero poter soddisfare la maggior parte degli obiettivi di qualità dell'aria, molto cautelativi per la salute, che la Commissione Europea ha preso come riferimento (v. Tab. 2.3).

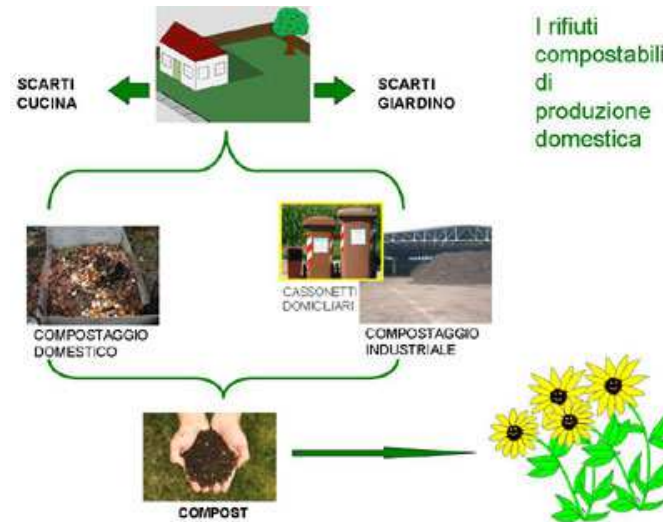
Tabella 2.3. Obbiettivi di qualità dell'aria.

Impurità	Obbiettivo di qualità dell'aria
Biossidi di azoto	Valore orario massimo: 200 µg/m ³
Ossido di carbonio	Valore orario massimo: 10 mg/m ³
Benzene	Media annuale: 10 µg/m ³
Particolato	Media nelle 24 ore: 50 µg/m ³
Ozono troposferico	Valore percentile 99 su un'ora: 10 µg/m ³

Solamente per l'ozono non si riuscirà, comunque, a scendere a valori ritenuti soddisfacenti e pertanto gli NO_x ed i COV (responsabili della formazione di ozono troposferico) necessiteranno di essere ulteriormente ridotti. Nuovi inasprimenti per tali inquinanti sono già allo studio da parte della Commissione Europea e sono destinati ad entrare in vigore nell'anno 2005.

Compostaggio

Il Compostaggio, o “riciclaggio dei rifiuti organici”, è una semplice ma precisa tecnica per realizzare il compost, ricco e nutriente concime naturale, utile per fare crescere forti e sane piante, ortaggi, fiori, attraverso il recupero e il trattamento della frazione verde (potature, sfalci di prati e giardini, foglie secche, cortecce, segatura, paglia) e del rifiuto organico casalingo. Il compost o humus è una vera riserva di nutrimento per le piante data la sua capacità di liberare, in modo lento e costante, elementi nutritivi come l’azoto, il fosforo, il potassio, assicurando la fertilità costante del suolo. Il compost può essere prodotto sia su scala industriale o a livello domestico. Il processo naturale di decomposizione, trasformazione e ricomposizione in humus, con tempi variabili tra 3 e 6 mesi, rimane sostanzialmente il medesimo.



Come accade in natura, il riciclaggio dei rifiuti organici, o compostaggio, si svolge in tre fasi: decomposizione, trasformazione e ricomposizione. I rifiuti organici, ammassati in precisi cumuli, sono subito aggrediti da microrganismi chiamati aerobici, perché lavorano in presenza di ossigeno, che trasformano le molecole organiche in sostanze chimiche più semplici. In questa fase, la temperatura del cumulo aumenta fino a 50 gradi a causa del notevole utilizzo di ossigeno che sviluppa molta energia.

Successivamente intervengono altri decompositori, come funghi, batteri attinomiceti, che distruggono le parti più complesse, come quelle legnose. La temperatura, data la minor richiesta di ossigeno, si abbassa e rallenta anche il processo di decomposizione. A questo punto, intervengono altri animalietti demolitori come lombrichi e millepiedi che sminuzzano e rimescolano le diverse sostanze portando a termine il processo di trasformazione.

I rifiuti organici sono diventati compost, un ricco concime fertilizzante paragonabile, nel colore e odore, all'humus del sottobosco. Per il compostaggio domestico la Bea SpA (Brianza Energia Ambiente) propone ogni anno una campagna di corsi di compostaggio, con lo scopo di insegnare il corretto metodo per recuperare il rifiuto organico casalingo da riutilizzare nei propri orti e giardini. L'iniziativa, normalmente aperta a tutti i cittadini degli undici comuni associati a Bea SpA e a quelli di altri comuni aderenti all'iniziativa, prevede corsi completamente gratuiti, della durata di circa 2 ore, e per chi lo desidera, propone, ad un prezzo simbolico, un composter, speciale contenitore per trasformare i rifiuti in compost, e un servizio di assistenza tecnica che consiste in 2 visite domiciliari da parte di un tecnico a 30 e 180 giorni dall'avvio della pratica del compostaggio domestico. Ai cittadini che partecipano ai corsi viene rilasciato un attestato di partecipazione. Durante i corsi, inoltre, i cittadini possono visitare l'impianto, vedendo ed imparando, in piccolo, ciò che avviene ogni giorno, in grande, nell'impianto di compostaggio di Bea SpA.

Cucina solare

Le associazioni di volontariato Salvambiente e Oltreilconfine di Trezzano romuovono la spedizione di cucine solari ai campi profughi di Niger e Burkina Faso, con l'obiettivo di dotare di energia solare dispense, scuole, comunità rurali di Niger e Burkina Faso . Infatti Il processo di deforestazione e desertificazione, provocati dalla raccolta della legna e dall'allevamento del bestiame sommati ai cicli di siccità e ai cambiamenti climatici, è diventato un grave problema in alcune zone del pianeta, principalmente nelle regioni subsahariane di paesi come Sudan, Nigeria, Burkina Faso o Senegal. La scarsità di legna ha generato una vera e propria crisi della legna, con una seria ricaduta sulla cottura del cibo. Una soluzione poco costosa alla mancanza di legna, può essere costituita da cucine a energia solare. Si tratta di cucine paraboliche, sviluppate dal Gruppo di Aiuto e Formazione Professionale di ALtoting (Germania) e ormai in uso nei paesi in via di sviluppo, come alternativa al consumo di combustibili fossili, con i seguenti vantaggi: basso costo, poco peso e facile trasporto, semplice montaggio e scarsa manutenzione. L'uso di kit con componenti prefabbricati facilita il montaggio in loco di cucine ad energia solare. La cucina ad energia solare parabolica necessita di insolazione e di uno spazio sgombro protetto dal vento. La cucina è composta da uno specchio parabolico, costituito da parti separate, che riflettono i raggi solari su un contenitore posto sul punto di fuoco al centro della parabola. Il riflettore concentra i raggi del sole sulla pentola e la riscalda. Le cucine paraboliche possono raggiungere le stesse temperature delle cucine tradizionali (c.a. 200°C $\approx 392^{\circ}\text{F}$) e conseguentemente, oltre a cucinare, permettono di infornare e friggere. Il cuoco può continuare a cucinare le proprie ricette abituali. Oltre 15.000 di queste cucine paraboliche sono state distribuite in oltre 80 paesi di tutto il mondo e sono stati iniziati dei programmi scolastici per imparare ad assemblare questo tipo di cucine.



Desertec

“Desertec” è un ambizioso progetto che ha l’obiettivo di produrre elettricità da diversi impianti solari termici a concentrazione solare nel deserto del Sahara con una potenza complessiva di circa 100 GW.

Desertec mira a soddisfare, entro la metà del secolo, il 15% della domanda elettrica europea entro il 2050.

Il progetto “Desertec” è promosso da 12 società (E.On, Abb, Abengoa Solar, Cevital, Deutsche Bank, Hsh NordBank, Man Solar Millennium, Munich Re, M+W Zander, Rwe, Schott Solar, Siemens) e mira a realizzare nel deserto del Sahara un enorme sistema di impianti solari termodinamici a concentrazione, in cui una serie di specchi concentra la luce in un unico punto, in modo da scaldare l’acqua a 800 gradi e trasformarla in vapore, facendo entrare in funzione la turbina elettrica della centrale termica.

Il progetto prevede di produrre con questo sistema fino a 100 GW di elettricità da inviare in Europa attraverso una rete di trasmissione sottomarina.



Digestori

Il digestore (che digerisce, che degrada) anaerobico (senza ossigeno) decompone il rifiuto umido organico. Nel digestore la degradazione avviene in un ambiente ermeticamente chiuso, quindi senza aria; l'aria non può entrare e i gas prodotti, con i loro cattivi odori, non possono uscire. Il materiale in degradazione, dunque, non essendo a contatto con l'ambiente esterno, non libera in esso i gas che si sviluppano. Il gas metano prodotto nel corso del processo, viene così catturato ed utilizzato per produrre corrente elettrica che, venduta al gestore, dà un introito economico al Comune. Un primo introito economico deriva dalla produzione di energia elettrica. Un ulteriore introito economico è dovuto ai costi più bassi che il Comune, e quindi i cittadini, affronteranno per liberarsi dell'umido. Un altro introito deriva dalla vendita del compost, prodotto dalla degradazione dei rifiuti organici.

E...come Eolico

L'**energia eolica** è l'energia posseduta dal vento. L'uomo ha impiegato la forza del vento sin dall'antichità, per navigare, per pompare l'acqua e per muovere le pale dei mulini utilizzati per macinare i cereali o per spremere olive. Solo da pochi decenni l'energia eolica viene impiegata per produrre elettricità. I moderni mulini a vento sono chiamati aerogeneratori. (fig.1)

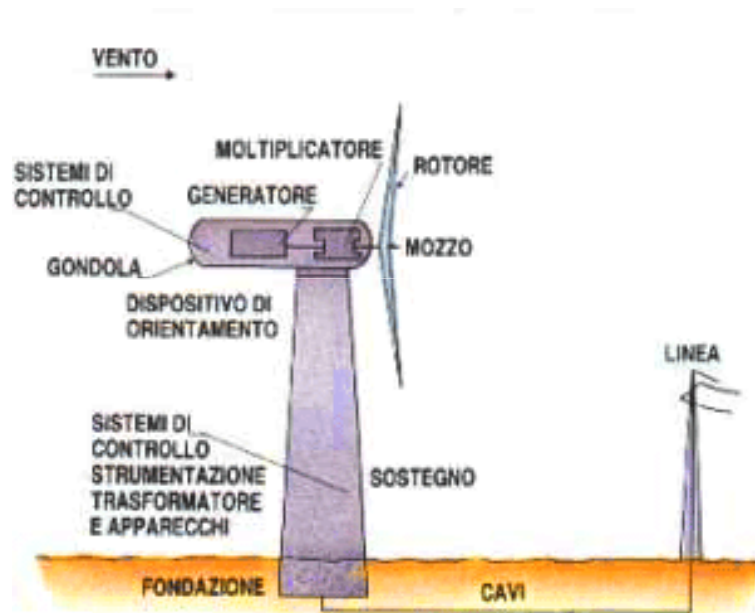


Figura 1. aerogeneratori

Il principio di funzionamento degli aerogeneratori è lo stesso dei mulini a vento: il vento che spinge le pale. Ma nel caso degli aerogeneratori il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso ad un generatore che produce elettricità.

Gli Aerogeneratori

Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensione. Possono, infatti, avere una, due o tre pale di varie lunghezze. Gli aerogeneratori possono essere di piccola taglia (con potenza compresa tra 1 a 20 kW), media taglia (con potenza compresa tra 100 e 800 kW) e grande taglia (con potenza superiore a 800 kW).

TAGLIA PICCOLA

Gli impianti mini eolici, o di piccola taglia, sono impianti con potenza compresa tra 1 a 20 kW. Il cuore del microeolico sono i **microgeneratori eolici** che sono torri eoliche di dimensioni contenute.

Tali apparati si suddividono in:

- Impianti connessi in rete con scambio sul posto per monetizzare l'energia elettrica prodotta (in Italia, con i decreti attuativi della finanziaria del 2007, è stata confermata per il mini eolico la tariffa onnicomprensiva di 0,30 di euro per ogni kW di energia elettrica immessa in rete)
- Impianti in isola, che utilizzano l'energia prodotta.

Caratteristica essenziale per un sito in cui si vuole installare un microgeneratore è la presenza di vento costante. Naturalmente oltre la costanza ha importanza anche la forza del vento. Altro fattore di valutazione è la geografia del posto e la presenza di eventuali ostacoli che possano schermare il vento.

I microgeneratori eolici sono impianti mini eolici, che utilizzano il vento per produrre energia elettrica. Questi impianti assumono il suffisso “mini” (mini pale o mini impianti) per differenziarli dagli impianti di grandi dimensioni che costituiscono le centrali eoliche. Sono caratterizzati dall'avere rotori di piccolissime dimensioni (diametro inferiore al metro) e da una grande semplicità di installazione. Possono essere posizionali in qualunque posto: dal terrazzo al balcone o al giardino di casa, dalla barca al camper. Una loro fondamentale caratteristica è che possono utilizzare anche venti dotati di velocità estremamente basse dell'ordine dei due metri al secondo.



Aerogeneratore taglia piccola

TAGLIA MEDIA

Gli aerogeneratori di taglia media hanno una potenza compresa tra 100 e 800 Kw. Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind-farm, “fattorie del vento”, che sono delle vere centrali elettriche. Nelle wind-farm la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare cadute di produzione. Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale. Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa installarne uno ogni 200 metri circa. Una fattoria del vento costituita, ad esempio, da 30 aerogeneratori da 300 kW l'uno in una zona con venti dalla velocità di 25 km/h, può produrre 20 milioni di kWh all'anno, vale a dire quanto basterebbe a soddisfare le esigenze di circa 7000 famiglie. Per raggiungere lo stesso risultato con una centrale a carbone si libererebbero nell'aria 22 mila tonnellate di anidride carbonica, 125 tonnellate di anidride solforosa e 43 tonnellate di ossido di azoto.

Quando le wind-farm sono costruite in mare prendono il nome di impianti off-shore e rappresentano un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare.



TAGLIA GRANDE

Gli aerogeneratori di taglia grande hanno una potenza compresa tra **800 - 2500 kW**, il diametro del rotore di 55 - 70 metri e l'altezza del mozzo di 60 - 80 metri.

La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti off-shore è in pieno sviluppo: a livello commerciale esistono macchine da 1 MW ed esistono prototipi da 3 MW.

Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri.

Come nel caso di *Beatrice*, una titanica turbina eolica installata nelle acque del Mare del Nord flagellate dai venti, a circa 25 chilometri dalla costa nord-orientale della Scozia. **Beatrice** è alta 230 metri (quanto un grattacielo di 75 piani). Le sue pale sono lunghe più di 61 metri e pesano 17,5 tonnellate ciascuna. La torre che supporta le pale è di 59 metri ed è incastrata in una struttura di sostegno in lattice e acciaio di 70 metri, ancorata sul fondo marino a 45 metri di profondità.

Intanto dalla Norvegia è in arrivo il prototipo di una **mega turbina off-shore da 10 MW**: un impianto galleggiante con pale da 145 metri di diametro.



Legambiente soffia vento

Legambiente soffia vento nelle vele dell'energia eolica, sottolineandone il deciso incremento negli ultimi anni ma anche denunciando resistenze e lacune normative. L'associazione ambientalista nel 2010 ha affrontato il tema nell'ambito di un convegno, intitolato *“Il vento fa bene all'Italia”* e svolto a Roma assieme all'Anev (Associazione Nazionale Energia del Vento), associazione di categoria che raggruppa gli operatori del settore. Il tema delle energie rinnovabili è tornato quanto mai d'attualità proprio in questi giorni, in cui il presidente degli Stati Uniti, Barack Obama, ha sancito il ritorno del suo Paese al nucleare dopo decenni di stasi. Anche l'Italia ha recentemente compiuto passi ufficiali per riprendere il cammino nel nucleare ma l'oggettiva situazione dei due Paesi è molto diversa. Gli ambientalisti - da sempre contrari al ritorno delle centrali atomiche bandite con un referendum oltre vent'anni fa - puntano decisamente sull'incremento delle fonti rinnovabili, facendo proprio il programma dell'Unione europea, che incita i Paesi aderenti a un deciso incremento di queste forme di produzione energetica entro la data-simbolo del 2020, con un contributo delle rinnovabili al totale dell'energia prodotta pari al 17%. Partito in ritardo rispetto ai partner europei, l'eolico italiano sta facendo passi da gigante per mettersi al pari con i migliori. Secondo i dati citati durante il convegno, l'Italia conta oggi su oltre 5mila Megawatt (MW) di energia prodotta dal vento, pari a circa il 2,1% dell'intero consumo lordo. Il settore fornisce un'occupazione stabile a oltre 2.500 addetti ma ha di fronte a sé un ampio margine di crescita. Secondo Legambiente, giungere a 10mila MW entro il 2020 non è solo possibile ma anche auspicabile. Sia costruendo nuovi impianti, magari in mezzo al mare - come già accade in alcuni Paesi - sia potenziando quelli esistenti. Tutto da esplorare è poi il settore emergente dei microimpianti per uso domestico. In Europa nel solo 2009 sono stati installati nuovi impianti per oltre 10mila MW, quasi duemila dei quali nella sola Germania, Paese ai vertici del settore con oltre 25mila MW totali installati. Subito dopo viene la Spagna, che ha investito moltissimo nelle energie rinnovabili in questi ultimi anni, trovandosi oggi - con oltre 19mila MW installati, 2.459 dei quali installati nel 2009 - a tallonare i tedeschi in questa speciale classifica. In Francia, dove la maggior parte del fabbisogno energetico è coperto dall'energia prodotta nelle centrali nucleari, l'eolico non raggiunge invece i 4.500 MW installati (1.088 nell'ultimo anno); poco di più del Regno Unito, dove i megawatt installati sono poco oltre i 4mila, 1.077 dei quali ottenuti nel 2009. La situazione non si presenta dunque univoca, ma il *“Global Wind Energy Association”* (organismo internazionale di cui fa parte anche l'Anev) ha stimato che nel 2009 il potenziale eolico mondiale è cresciuto di ben il 31%. In cima alla lista dei Paesi produttori - dopo gli Usa - troviamo due giganti come Cina e India, Paesi letteralmente affamati di energia che evidentemente non disdegnano quella gratuita ma incostante fornita da monsoni e alisei.

Energia eolica

Cenni storici

L'energia eolica è stata largamente utilizzata sin dall'antichità in svariate applicazioni quali la navigazione a vela, la ventilazione dei cereali e l'essiccazione dei prodotti dell'agricoltura e della pesca. L'uso della vela per lo spostamento di imbarcazioni appare già in primitive raffigurazioni egizie del 2500 a.C. e costituisce il primo esempio di utilizzazione delle energie naturali come forza motrice. I primi mulini a vento comparvero nelle aree considerate la culla della civiltà: Mesopotamia, Cina, Egitto. E' tramandato che il re di Babilonia Hammurabi progettò, nel 17° secolo a.C., di irrigare la pianura mesopotamica per mezzo dei mulini a vento. Si trattava probabilmente di mulini ad asse verticale simili a quelli tuttora in funzione in quei paesi. Bisogna arrivare all'anno 630 d.C., sotto il regno del califfo Omar I, per avere la certezza storicamente valida che il mulino a vento era una macchina di uso corrente. In Europa i mulini a vento apparvero in ritardo, nel Medioevo al tempo delle Crociate; essi erano concezione del tutto diversa, con ruota ad asse orizzontale e di dimensioni maggiori, tecnologicamente più complessi e di maggior rendimento. I mulini furono usati nel corso dei secoli in tutta Europa per i più svariati usi, come la macinazione dei cereali, la spremitura delle olive, il pompaggio dell'acqua, l'azionamento di segherie, cartiere, tintorie, industrie del tabacco. Ricordiamo in particolare i classici mulini che gli olandesi utilizzarono a partire dal 1350 per il drenaggio delle paludi; a metà del 1800 se ne contavano ancora 9.000 in funzione.

Nel secolo scorso cominciarono a diffondersi aeropompe con giranti multipala di piccolo diametro, utilizzate poi in un grandissimo numero di esemplari nelle fattorie dei territori di nuova colonizzazione. Solo negli Stati Uniti d'America, tra il 1880 e il 1930, ne furono installati milioni di esemplari per usi agricoli e domestici; molte di queste macchine esistono ancora e parecchie sono tuttora in uso. I primi generatori di energia elettrica azionati dal vento risalgono agli inizi del '900 e nel 1914 erano già in funzione diverse centinaia di macchine di potenza compresa tra 3 e 30 kW. Nel periodo tra le due Guerre Mondiali fu compiuta una rapida evoluzione sul piano tecnologico, con la costruzione di aerogeneratori di potenze crescenti da 40-80 kW fino ai 1250 kW dell'aerogeneratore americano di Grandpa's Knob (fig. 3); in alcuni paesi, come la Danimarca, si arrivò a soddisfare una consistente parte del fabbisogno di energia elettrica nazionale con generatori a vento di media potenza ubicati in prossimità di fattorie e villaggi. L'utilizzazione su grande scala dei combustibili fossili, che nel secondo dopoguerra forniva energia a costi bassissimi, portò a un quasi completo abbandono delle ricerche e della produzione di aerogeneratori.

Il vento

I venti sono dovuti al riscaldamento non uniforme della superficie terrestre ad opera del sole; durante il giorno le masse di aria sovrastanti le acque del globo restano fredde, in rapporto a quelle situate al di sopra delle aree continentali, in quanto parte dell'energia termica proveniente dal sole viene utilizzata per l'evaporazione dell'acqua.

Quindi, l'aria al di sopra delle terre emerse si espande, diviene più leggera e si solleva, mentre l'aria più fredda e più pesante, proveniente dagli oceani, si muove per prenderne il posto. A questi colossali spostamenti di masse d'aria verso zone caratterizzate da una bassa pressione contribuisce anche il moto di rotazione del pianeta.

La radiazione solare può essere vista come un'enorme pompa che tiene costantemente in movimento il ciclo delle masse d'aria planetaria, la cui energia cinetica complessiva ammonterebbe a $1,58 \cdot 10^{16}$ KWh/anno.

Per sfruttare al meglio l'energia eolica, mediante sistemi di conversione in energia elettrica è importante conoscere le seguenti caratteristiche:

densità dell'aria;

caratteristiche topografiche del sito;

variazione nel tempo della direzione e della velocità del vento;

Densità dell'aria: ritenendo valida, per l'aria, la legge dei gas perfetti alla pressione atmosferica ed alla temperatura di 15°C la densità dell'aria vale $1,22 \text{ kg/m}^3$. La densità segue quindi le variazioni della pressione e della temperatura. La densità varia :

- in funzione delle condizioni climatiche;
- in funzione dell'altezza sul livello del mare (a 3000 m la densità è inferiore del 30% rispetto a quella sul livello del mare).

La variazione della densità dell'aria ha effetti sullo sfruttamento dell'energia del vento, infatti, a velocità costante, la potenza del vento aumenta all'aumentare della quota, e al diminuire della temperatura sotto i 20°C.

Caratteristiche topografiche del sito: l'intensità del vento è notevolmente influenzata dall'aspetto topografico del sito. In generale, la velocità del vento è più elevata sulle colline che nel fondo delle valli; in particolare, le colline situate in prossimità delle coste costituiscono dei siti favorevoli allo sfruttamento dell'energia eolica, principalmente quando sono spoglie e con pendenze dolci e progressive. Le colline e le coste dirupate di forte pendenza sono, per contro, meno favorevoli a causa delle notevoli turbolenze presenti, che creano sollecitazioni pericolose.

Variazione nel tempo della direzione e della velocità del vento: questa caratteristica dei venti è fortemente influenzata dalle asperità terrestri e dalla variabilità verticale, che insieme alla vegetazione, producono la turbolenza atmosferica e le raffiche di vento.

Le raffiche di vento interessano in modo particolare per la stabilità della struttura: l'intensità massima e la frequenza delle oscillazioni intorno al valore medio, l'accelerazione, la durata delle raffiche e gli scarti in direzione (orizzontale o verticale), producono sollecitazioni di fatica estremamente dannose.

Valutazione della risorsa

La conoscenza delle potenzialità eoliche di una certa località è di fondamentale importanza per stabilire la competitività economica di questa fonte energetica rispetto alle altre fonti rinnovabili. Occorre, a questo proposito conoscere, la velocità del vento, e l'unico metodo corretto è quello di ricorrere a rilevamenti anemometrici, distribuiti in un arco di tempo abbastanza lungo (15-20 anni), tali da avere una “storia del vento” la più attendibile possibile. Si vogliono risultati che, elaborati statisticamente, possano descrivere in modo esaustivo la località da un punto di vista anemologico.

Le elaborazioni statistiche di uso più frequente sono le seguenti:

- a) *distribuzione di frequenza della velocità del vento*: rappresenta il numero di eventi che hanno assunto una certa intensità;
- b) *distribuzione di frequenza cumulata percentuale*: rappresenta la percentuale di eventi che hanno assunto un'intensità pari o superiore ad un dato livello di velocità;
- c) *tempo medio di permanenza*: viene stabilito riportando per ciascun mese dell'anno, il valore medio e lo scarto quadratico medio del tempo durante il quale la velocità del vento si mantiene costantemente a valori superiori o uguali al livello di velocità considerato;
- d) *tempo medio di ritorno*: è il tempo necessario alla velocità del vento per tornare al di sopra di un dato livello di velocità.

Le elaborazioni statistiche presuppongono la conoscenza di numerosi dati eolici registrati da anemometri, nella maggior parte dei casi non esistono un numero sufficiente di stazioni con lunghe serie storiche di dati, né è plausibile pensare alla loro installazione, in quanto i dati utilizzati sarebbero disponibili in un arco di tempo troppo lungo, vanificando un intervento energetico anche a medio tempo.

Per avere una valutazione, anche approssimata, della potenzialità eolica un sito, non resta che far ricorso a delle “misurazioni indirette”, tramite indicatori di tipo topografico, biologico e geomorfologico.

Indicatori topografici del potenziale eolico: sono una guida per la comprensione delle interazioni del vento con il terreno e sono una sintesi delle conoscenze meteorologiche su piccola e media scala. Risultano particolarmente utili quando, avendo effettuato una certa selezione su siti ottimali, si tratta di effettuare la scelta definitiva tra due di questi. Gli indicatori di questo tipo possono essere classificati facendo riferimento a due tipi di flusso:

- 1) *flusso su terreni pianeggianti:* questo tipo di flusso è stato studiato con misurazioni e simulazioni nella galleria del vento, il terreno infatti non è mai completamente piatto, si presentano sempre delle irregolarità. Un terreno può considerarsi piano se le irregolarità presenti non hanno effetto percettibile sul vento e sulle caratteristiche di turbolenza nella regione fra il terreno e la sommità del rotore.
- 2) *Flusso su terreni con rilievi di piccola scala:* si definiscono così le configurazioni topografiche come piccole colline e crinali, piccoli avvallamenti, canyons, gole e in genere depressioni. La velocità del vento aumenta con l'aumentare dell'altezza quindi in prossimità delle creste si ha una velocità maggiore rispetto al suolo, in questi casi interessa conoscere la distribuzione della velocità lungo il crinale.

Indicatori biologici del potenziale eolico: i processi biologici e fisiologici, in aree ove spirano venti persistenti, possono subire modificazioni causando sostanziali e permanenti cambiamenti nella flora. Basandosi su questi effetti è possibile ricavare delle informazioni sulle caratteristiche del vento a varie classi di scala:

- *piccola:* dove il vento ha deformato in modo permanente un singolo albero o un cespuglio;
- *regionale:* dove il vento ha deformato un numero elevato di alberi dalla cui osservazione è possibile risalire ad una mappa eolica del luogo
- *grande:* dove, con l'uso di tecniche appropriate, è possibile mostrare gli effetti del vento su una intera comunità di piante.

Indicatori geomorfologici del potenziale eolico: l'interazione dei venti con la superficie terrestre è causa di modificazioni geomorfologiche; nelle regioni aride dove la vegetazione è sparsa il vento erode la superficie, trasporta la sabbia e detriti e deposita sedimenti. Per lo studio della velocità del vento quello che interessa è lo studio delle dune che possono essere classificate in tre configurazioni:

- *dune “rapanti”:* dove il vento sale sopra una affilata rottura del terreno;
- *dune “da crollo”:* dove la sabbia è spinta sopra la rupe e cade in una valletta riparata;
- *dune “da accumulo”:* in una depressione del terreno si accumula la sabbia sino a formare le dune.

La velocità del vento può essere stimata in base alla distribuzione granulometrica dei granelli di sabbia, o della migrazione delle dune.

La conversione dell'energia eolica

L'energia disponibile nel vento è essenzialmente **energia cinetica**, le macchine utilizzate per la captazione di questa energia sono gli **aerogeneratori** (fig.1). La massa di aria in movimento spinge le pale degli aerogeneratori, la rotazione delle pale viene trasmessa ad un generatore che produce elettricità. Vediamo più in dettaglio come è costituito un aerogeneratore, prendendo come riferimento un aerogeneratore ad asse orizzontale, ossia parallelo alla direzione del vento.



Il rotore

E' costituito da un mozzo su cui sono fissate le pale che possono ruotare ad una velocità superiore ai 200 chilometri orari. Le pale più utilizzate sono realizzate in fibra di vetro. Il numero delle pale può variare: i rotori a due pale sono meno costosi e girano a velocità più elevate, sono però più rumorosi e vibrano di più di quelli a tre pale, tra i due la resa energetica è quasi equivalente. Sono stati realizzati anche rotori con una sola pala equilibrata da un contrappeso, a parità di condizioni questi rotori sono più veloci del binala, ma hanno rese energetiche inferiori. Ci sono anche rotori con numerose pale, di solito 24, impiegate per azionamento diretto di macchine, come le pompe.

Sono stati messi a punto dei rotori con pale "mobili", variando l'inclinazione delle pale al variare della velocità del vento è possibile mantenere costante la quantità di energia prodotta dall'aerogeneratore.

Il sistema frenante

E' costituito da due sistemi indipendenti di arresto delle pale, un sistema di frenaggio aerodinamico, e uno meccanico. Il primo viene utilizzato per controllare la potenza dell'aerogeneratore, come freno di emergenza in caso di sovravelocità del vento, per arrestare il rotore. Il secondo viene utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.

La torre e le fondamenta

La torre sostiene la navicella e il rotore, può essere a forma tubolare o a traliccio, in genere è costruita in cemento armato, in acciaio o fibre sintetiche.

La struttura dell'aerogeneratore per poter resistere alle oscillazioni ed alle vibrazioni causate dalla pressione del vento deve essere ancorata al terreno mediante fondamenta. Le fondamenta sono completamente interrate e costruite con cemento armato.

Il moltiplicatore di giri

Il moltiplicatore di giri serve per trasformare la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce in grado di far funzionare il generatore di elettricità.

Il generatore

Il generatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica, la potenza del generatore viene indicata in kW.

Il sistema di controllo

Il funzionamento di un aerogeneratore è gestito da un sistema di controllo che svolge due diverse funzioni. Gestisce, automaticamente e non, l'aerogeneratore nelle diverse operazioni di lavoro e aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico dovuto ad eccessiva velocità del vento.

La navicella e il sistema di imbardata

La navicella è una cabina dove sono ubicati tutti i componenti di un aerogeneratore, ad eccezione del rotore e del mozzo. La navicella è posizionata sulla cima della torre e può girare di 180°.

Per assicurare il massimo rendimento dell'aerogeneratore è importante mantenere un allineamento più continuo possibile tra l'asse del rotore e la direzione del vento. Negli aerogeneratori di media e grossa taglia, l'allineamento è garantito da un servomeccanismo, detto sistema di imbardata, mentre nei piccoli aerogeneratori è sufficiente l'impiego di una pinna direzionale. Nel sistema di imbardata un sensore, la banderuola, indica lo scostamento dell'asse dalla direzione del vento e aziona un motore che riallinea la navicella.

Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensioni. Possono, infatti, avere una , due o tre pale di varie lunghezze: quelli con pale lunghe 50 centimetri vengono utilizzate come caricabatteria quelli con pale lunghe circa 30 metri, sono in grado di erogare una potenza di 1500 kW, riuscendo a soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 1000 famiglie. Il tipo più diffuso è l'aerogeneratore di taglia media, alto oltre 50 metri, con due o tre pale lunghe circa 20 metri, questo tipo di aerogeneratore è in grado di erogare una potenza di 500-600 kW e soddisfa il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 500 famiglie.

Dal punto di vista delle dimensioni, le macchine si suddividono in:

- macchine di piccola taglia*: potenza 5-100 kW, diametro rotore 3-20 m, altezza mozzo 10-20 m;
- macchine di media taglia*: potenza 100-800 kW, diametro rotore 25-50 m, altezza mozzo 25-50 m;
- macchine di grande taglia*: potenza 800-2500 kW, diametro rotore 55-70 m, altezza mozzo 60-80 m.

Aerogeneratori ad asse verticale

Oltre agli aerogeneratori ad asse orizzontale già descritti esistono anche quelli ad asse verticale prendiamo in considerazione l'AG Windrotor (fig.2).

L'AG Windrotor è un impianto eolico innovativo brevettato ed estremamente funzionale. Dell'energia eolica che investe il rotore, esso riesce a trasformare in energia elettrica il 48%. L'impianto parte autonomamente, indipendentemente dalla direzione del vento e produce energia già ad una velocità del vento di circa 2 m/s. Le parti del rotore sono saldamente fissate, non possiede parti spostabili meccanicamente, è solido, silenzioso ed, al di fuori dell'ingrassamento annuale di un cuscinetto, esente da manutenzione. L'impianto è resistente a raffiche di vento, raggi UV, calore, venti sabbiosi e bufere con variazione improvvisa della direzione del vento. In questi casi il rotore non deve essere fermato, poiché a 90 giri/min. (densità aria 1,29) non scorre più aria attraverso di esso e si stabilizza quindi automaticamente formando una depressione. È l'unico impianto al mondo che produce durante bufere costantemente la corrente nominale.

Il rotore viene costruito con profili e lamiere in alluminio con spessori fino a 2 mm., che garantiscono una lunga durata nel tempo e sono resistenti anche a forti variazioni di temperatura, nubi tossiche e venti saliferi. Per l'ottimale disposizione del perno e delle ali, l'intero sistema viene pervaso dal vento, avviando, per mezzo dell'inversione del flusso d'aria e la successiva accelerazione, l'ala tornante contro il vento. In caso di una forte nevicata in assenza di vento, il rotore sopporta grazie alla sua simmetria perfetta il carico nevoso senza alcun problema. Appena il sole riscalda l'alluminio, la neve inizia a sciogliersi oppure viene spazzata via al ritorno del vento.



Figura 2. AG Windrotor

Se invece per eccessiva umidità si formasse della condensa d'acqua all'interno del rotore, questa defluisce attraverso 12 fori di diametro pari a 3 cm. L' AG Windrotor è adatto soprattutto per utenze non allacciate alla rete pubblica (ad es. rifugi alpini, ripetitori, fattorie ecc.). Può fornire però anche energia a compressori, impianti d'irrigazione, refrigerazione e di desalinazione, pompe d'acqua e di raffreddamento, meccanismi di macinazione ed altro. L'energia ricavata viene trasferita attraverso un cavo dal generatore a magneti permanenti all'utente. Il regolatore elettronico di carico, la batteria ed il convertitore trovano posto nella struttura portante dell'impianto eolico. Da qui la tensione a 24 V in CC viene convertita in una tensione a 220 V 50 Hz in CA. Il convertitore viene utilizzato per l'alimentazione delle diverse apparecchiature. Il regolatore elettronico sovrintende allo stato di carica delle batterie, le quali si trovano tra il regolatore e l'utilizzatore. Esso provvede contemporaneamente sia alla carica delle batterie che alla fornitura diretta, in caso di scarica della batteria ed abbondanza di vento, di energia all'utenza. A seconda dell'intensità del vento l'utente riceve una certa quantità di corrente direttamente dal vento (tramite il regolatore) ed il resto, se necessario, dalle batterie o viceversa. Sul pannello frontale del regolatore si trovano gli strumenti analogici per la lettura dello stato di carica della batteria, la corrente utilizzata dal carico, tensione d'uscita ed i led di segnalazione delle varie funzioni. Il regolatore viene fornito in tre parti e con un sistema di commutazione automatica tra l'impianto eolico ed il generatore a Diesel tramite speciali teleruttori. Azionando in assenza di vento e batterie scariche il generatore a Diesel, questo carica contemporaneamente anche le batterie. L' AG Windrotor con una potenza di 3 kW occupa una superficie di ca. 9 mq. Per le fondamenta è prevista una piattaforma in cemento armato che viene ancorata attraverso 5 punte filettate di diametro 22 e di lunghezza pari a 80 cm. In tabella 1 sono riportati alcuni dati tecnici.

Tabella 1. Dati tecnici.

Dati tecnici	Rotore 500 W	Rotore 3kW	Rotore 7kW
Altezza turbina			
Diametro			
Altezza globale			
Capacità accumulo	12 kW	≤ 48 kW	≤ 108 kW
Potenza nominale	500 W (12m/s)	3 kW (14 m/s)	7 kW (14 m/s)

Le centrali elettriche

Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind-farm, “fattorie del vento”, che sono delle vere centrali elettriche.

Nelle wind-farm la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare cadute di produzione. Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale. Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa installarne uno ogni 200 metri circa.

Una fattoria del vento costituita, ad esempio, da 30 aerogeneratori da 300 kW l'uno in una zona con venti dalla velocità di 25 km/h, può produrre 20 milioni di kWh all'anno, vale a dire quanto basterebbe a soddisfare le esigenze di circa 7000 famiglie.

Per raggiungere lo stesso risultato con una centrale a carbone si libererebbero nell'aria 22 mila tonnellate di anidride carbonica, 125 tonnellate di anidride solforosa e 43 tonnellate di ossido di azoto.

Quando le wind-farm sono costruite in mare prendono il nome di impianti off-shore.

Rappresentano un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare. La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti off-shore è in pieno sviluppo: a livello commerciale esistono macchine da 1 MW ed esistono prototipi da 3 MW.

Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri. Attualmente in Europa sono operative 5 centrali costruite in Olanda, Svezia e Danimarca con una potenza totale di 30 MW. In Italia non esiste ancora nessun impianto off-shore, ma è stato calcolato un potenziale sfruttabile di 3000 MW, pari a quello della terraferma, in grado di soddisfare il 4% degli attuali consumi di elettricità.



L'energia eolica e l'ambiente

L'energia eolica è una fonte rinnovabile e pulita. I possibili effetti indesiderati degli impianti hanno luogo solo su scala locale e sono: il rumore, l'occupazione del territorio, l'impatto visivo, gli effetti sulla flora e sulla fauna e le interazioni sulle telecomunicazioni.

Il rumore.

Il rumore che emette un aerogeneratore viene causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri. Questo rumore può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale, la loro conformazione, la struttura e l'isolamento acustico della navicella. Il rumore proveniente da un aerogeneratore deve essere inferiore ai 45 decibel in prossimità delle vicine abitazioni. Tale valore corrisponde ad una conversazione a bassa voce.

I moderni aerogeneratori soddisfano questa richiesta a partire da distanze di 150/180 metri.

Occupazione del territorio

Gli aerogeneratori e le opere di supporto (cabine elettriche, strade) occupano solamente il 2-3% del territorio necessario per la costruzione di un impianto. E' importante notare che nelle wind-farm, a differenza delle centrali elettriche convenzionali, la parte del territorio non occupata dalle macchine può essere impiegata per l'agricoltura e la pastorizia.

Impatto visivo

Gli aerogeneratori per la loro configurazione sono visibili in ogni contesto ove vengono inseriti. Ma una scelta accurata della forma e del colore dei componenti, per evitare che le parti metalliche riflettano i raggi solari, consente di armonizzare la presenza degli impianti eolici nel paesaggio.

Effetti su flora e fauna

Gli animali non sembrano affatto risentire della presenza delle nuove macchine a vento. Sembra proprio, alla luce di quanto già sperimentato, che ai piedi degli aerogeneratori la campagna possa continuare tranquillamente la sua vita e i suoi ritmi. Non a caso le distanze tra le macchine permettono la coltivazione del terreno e il pascolo del bestiame.

Per gli uccelli c'è stato qualche pericolo in più, specialmente in passato, quando le macchine eoliche avevano tutt'altra tecnologia. Studi specifici, a questo riguardo, sono stati condotti dal Rin (Research Institute for Nature Management) che ha potuto constatare come le perdite siano praticamente irrilevanti e comunque molto inferiori a quelle dovute al traffico di auto e agli stessi pali della luce e del telefono; questi animali, spesso dotati di ottima vista, non hanno problemi nell'individuare in volo queste grosse macchine (alte fino a 80-100m e con pale larghe anche 2m). E' comunque una nota raccomandazione e cura di ogni buon costruttore di wind-farm quella di tenere in considerazione le rotte degli uccelli migratori.

Interferenze sulle telecomunicazioni ed effetti elettromagnetici

Per evitare possibili interferenze sulle telecomunicazioni e la formazione di campi elettromagnetici basta stabilire e mantenere la distanza minima fra l'aerogeneratore e , ad esempio, stazioni terminali di ponti radio, apparati di assistenza alla navigazione aerea e televisori.

Emissioni evitate

L'utilizzo dell'energia eolica consente di evitare l'immissione in atmosfera delle sostanze inquinanti e dei gas serra prodotti dalle centrali convenzionali. Facciamo il conto delle emissioni evitate per kWh prodotto. Una centrale elettrica convenzionale emette mediamente:

- 1.000 g/kWh di CO₂
- 1,4 g/kWh di SO₂
- 1,9 g/kWh di NO_x

Prendiamo ora in considerazione i 700 MW di impianti eolici, che dovranno essere realizzati in Italia nei prossimi anni. Nell'ipotesi che l'energia annua prodotta sia pari a 1,4 TWh, pari a poco più dello 0,5% del fabbisogno elettrico nazionale, le emissioni annue evitate sono del seguente ordine:

- 1,4 milioni di tonnellate di CO₂
- 1.960 tonnellate di SO₂
- 2.660 tonnellate di NO_x

Energia eolica in Italia

In Italia, geograficamente, la potenza è installata prevalentemente al sud ed in Sardegna; mentre in Sicilia le aziende come Enel Greenpower si stanno attivando per aprire nuovi impianti tali da utilizzare una risorsa presente in maniera molto evidente sul territorio. I 58 impianti installati alla fine del 2000 fanno capo a varie aziende e a consorzi creati appositamente che operano sul territorio italiano e sono caratterizzati da potenze variabili; si va dai più piccoli potenti qualche centinaio di kW fino ai più grandi con potenze oltre i 20000 kW. L'energia prodotta nel corso del 2000 ammonta a 563 GWh, valore interessante anche se ancora al di sotto delle altre fonti rinnovabili (escluso il fotovoltaico). La fonte eolica, in Italia, ha ottime possibilità di contribuire in misura significativa alla diminuzione dell'impiego delle fonti fossili, possiede, infatti, le caratteristiche adeguate per inserirsi correttamente nei sistemi di generazione nazionali; in più l'innovazione tecnologica può risultare estremamente utile per una sua generalizzata promozione e sviluppo. Oltre ai grandi impianti, le cui potenzialità sono enormi, esiste poi la possibilità della installazione di piccoli impianti, i cosiddetti "mini-wind". Una possibilità produttiva da non sottovalutare è quella fornita dall'eolico off-shore, cioè degli impianti eolici costruiti e posizionati sul mare ad una distanza massima di 2 Km dalla costa. I vantaggi sono evidenti: il vento è molto più uniforme e non risente dell'attrito terrestre, non ci sono problemi legati all'occupazione del territorio e vincoli di tipo paesaggistico per la maggioranza delle coste. Gli svantaggi invece sono riferibili a costi d'impianto e di manutenzione più alti e da difficoltà maggiori di collegamento alla rete elettrica; per cui potrebbe rendersi necessario qualche cambiamento tecnologico per sfruttare questo enorme potenziale.

Aspetti economici

Per quanto riguarda gli aspetti economici va detto che l'energia eolica è diventata l'energia rinnovabile meno costosa, abbassando negli ultimi quindici anni il suo costo di circa l'85%. Poiché la potenza sviluppabile da un aerogeneratore varia col cubo della velocità del vento, l'economia eolica dipende molto dalla ventosità del sito in cui viene ubicata. Vi sono, inoltre, delle economie di scala conseguibili con la costruzione dei parchi eolici che utilizzano molti aerogeneratori. Si è stimato che in Europa il costo di un Kwh di energia elettrica da fonte eolica è lo stesso di un Kwh ottenuto in un moderno impianto a carbone provvisto di un'unità per lo scrubbing dei fumi, vale a dire 0.04 \$/KWh. Negli Stati Uniti il costo è quasi uguale a quello europeo, con la differenza che il governo degli USA ha previsto una "Federal Production Tax Credit" nel 1993 pari a 0.017 \$/Kwh, riducendo il costo a 0.015-0.03 \$/Kwh in base alle economie di scala conseguibili, per compensare i sussidi stabiliti per il petrolio, il carbone e l'energia nucleare. Tutto ciò ha aumentato la crescita dell'eolico negli USA con nuove farm in Colorado, Iowa, Kansas, New York, Oregon, Pennsylvania, Texas, Wyoming e Washington. Il basso costo dell'elettricità prodotta dall'eolico consente di fare un processo di elettrolisi dell'acqua per produrre idrogeno che può essere facilmente conservato e usato per rifornire di carburante le turbine a gas negli impianti di riserva energetici quando la forza del vento diminuisce. L'idrogeno prodotto con l'energia eolica è il candidato principale a sostituire il gas naturale quando le riserve di questo saranno esaurite ed in futuro anche per i motori. L'energia eolica offre una stabilità di prezzo a lungo termine ed una indipendenza energetica: non ci sono, infatti, variazioni di prezzo improvvise come nel gas naturale. Attualmente, in Italia, il costo di installazione, ipotizzando l'impiego di aerogeneratori da almeno 600 KW di potenza nominale, si può ritenere compreso tra un minimo di 900 euro e un massimo di 1300 euro per KW, andando da siti pianeggianti a siti caratterizzati da orografia complessa. Il costo della macchina può ritenersi compreso tra 2/3 e 3/4 del costo totale di installazione in funzione delle caratteristiche orografiche del sito. Alcuni esempi di costo dei campi eolici: una centrale da circa 10 MW, allacciata quindi alla rete elettrica in alta tensione, potrebbe avere un costo di realizzazione compreso tra 8 e 12.7 milioni di euro in funzione dell'orografia del sito. Il costo di produzione varia in funzione della taglia delle macchine e della ventosità del sito. Il Kwh prodotto è stato, nel corso degli ultimi anni, a livelli di 0.045-0.075 euro; stime più recenti lo indicherebbero in un range compreso tra 0.035 e 0.045 euro/KWh. Presto il costo del Kwh da fonte eolica potrebbe raggiungere anche 0.03 euro/KWh, divenendo così confrontabile con quello proveniente dagli impianti turbogas. Gli impianti di piccola taglia costano nell'ordine dei 1500-2500 euro al KW di potenza nominale: questo anche perché, a differenza degli aerogeneratori di grossa taglia, non hanno ancora un mercato sviluppato anche per i ritardi nelle normative che permettano l'allacciamento alla rete elettrica di tali sistemi (cosa che già esiste per gli impianti fotovoltaici). Il costo dell'energia eolica si è drasticamente ridotto ma richiede ancora sussidi governativi ed è, secondo alcuni, più alto di quello che si crede in quanto alcuni importanti elementi vengono trascurati. Tra essi:

- Il costo dell'accumulazione dell'energia generata per porre rimedio alla produzione intermittente e variabile delle turbine eoliche - sicché i sistemi elettrici possano essere mantenuti in equilibrio.
- I costi aggiuntivi della trasmissione elettrica e della gestione delle reti a causa dell'intermittenza, della variabilità e dalla bassa prevedibilità della produzione delle turbine eoliche e l'uso inefficiente della capacità di trasmissione.
- Gli sconti fiscali e i sussidi che spostano il carico fiscale e i costi dai proprietari delle "fattorie del vento" agli altri contribuenti e ai consumatori d'energia.

Oggi si cerca di rendere commercialmente competitiva l'energia eolica, liberandola dai sovvenzionamenti e battendo la strada della ricerca sui materiali, su una migliore aerodinamica e sull'ottimizzazione dei sistemi.

Energia solare

La radiazione solare è la più ricca fonte di energia rinnovabile a disposizione dell'uomo, infatti essa è praticamente inesauribile e rende possibili tutti i processi vitali, dalla crescita delle piante, alla vita di tutti gli organismi animali. E' energia solare quella accumulata per millenni sotto forma di combustibili fossili (petrolio, carbone, ecc), è energia solare quella che alimenta il ciclo dell'acqua sulla Terra rendendo possibile lo sfruttamento idrico, ed è ancora energia solare quella che provoca lo spostamento di grandi masse d'aria e di acqua, ossia i venti e le correnti marine. Essa trae origine dai processi di fusione che avvengono all'interno del Sole e che sono resi possibili a causa dell'elevata temperatura (10-40 milioni di gradi Kelvin) e della grande densità (circa 90g/cm^3) della regione più interna. Il processo più importante trasforma 4 nuclei di idrogeno in nuclei di elio; in ogni secondo 564×10^6 tonnellate di H_2 si trasformano in 560×10^6 tonnellate di He, dando origine a 3.8×10^{23} KJ di energia, che viene irradiata nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche. La radiazione solare che giunge sulla terra è caratterizzata da onde di lunghezza compresa tra $0,2$ e $3 \mu\text{m}$ (micrometri, cioè milionesimi di metro); l'occhio umano percepisce come luce solo le radiazioni con lunghezza d'onda compresa tra $0,38$ e $0,76 \mu\text{m}$. Le onde che hanno una lunghezza compresa tra $0,2$ e $0,38 \mu\text{m}$ sono denominate ultraviolette, quelle con lunghezza tra $0,78$ e $10 \mu\text{m}$ sono dette infrarosse. Ogni anno il sole irradia sulla superficie terrestre 19000 miliardi di TEP (tonnellate equivalenti di petrolio). Una quantità infinitesimale, rispetto a quella prodotta ma anche una quantità enorme, se si pensa che la domanda mondiale di energia è pari solo a 8 miliardi di TEP l'anno mentre il fabbisogno italiano è di appena 167 milioni di TEP. Durante l'attraversamento dell'atmosfera terrestre l'onda solare subisce una serie di fenomeni che diminuiscono l'intensità incidente sul suolo (fig.1): una parte di essa viene riflessa verso lo spazio (circa il 25%), principalmente ad opera delle nubi, un'altra parte viene assorbita e riemessa in tutte le direzioni dalle molecole di azoto, ossigeno, vapore acqueo, anidride carbonica, ozono, originando quella porzione di radiazione che noi chiamiamo diffusa (circa il 18%), infine, una porzione che raggiunge la superficie della terra nonostante l'assorbimento atmosferico, detta radiazione diretta (circa il 52%). Soltanto un'aliquota dell'irraggiamento solare raggiunge perciò il suolo terrestre, poiché nell'attraversamento dell'atmosfera esso risulta selettivamente assorbito e disperso. Dell'energia ricevuta dalla superficie terrestre, una parte viene pertanto assorbita dal terreno, una parte riflessa, una parte rimessa come radiazione infrarossa, una parte va dispersa per convezione e una parte contribuisce all'evaporazione superficiale dell'acqua.



Figura 1. Flusso di energia tra il sole, l'atmosfera, e la superficie terrestre

Inoltre l'intensità della radiazione solare che raggiunge il suolo terrestre varia in base:

- alla posizione della Terra rispetto al Sole. Durante l'inverno, infatti, nell'emisfero boreale i raggi del sole arrivano con un angolo basso rispetto all'orizzonte e pertanto le superfici orizzontali (tangenti alla superficie della Terra) risultano irradiate con scarsa intensità, mentre le superfici verticali esposte a Est, Sud, Ovest vengono irradiate intensamente.
- alla rotazione della Terra attorno al suo asse, la parte esposta ai raggi solari varia con ritmo giornaliero, od orario: i raggi del mattino e della sera investono le superfici verticali con angoli relativamente efficaci, essendo il Sole basso sull'orizzonte, mentre nelle ore meridiane l'irraggiamento più intenso raggiunge i piani orizzontali.
- alla latitudine del sito considerato
- alla quota
- alle variazioni delle condizioni meteorologiche locali

La potenza della radiazione solare incidente su una superficie ad essa perpendicolare, posta al di fuori dell'atmosfera terrestre, ad una distanza media tra sole e terra è praticamente costante ed è pari a $1,35 \text{ kW/m}^2$; detta potenza è chiamata costante solare. Per effetto dell'assorbimento atmosferico questo valore si riduce a circa $1,0 \text{ kW/m}^2$ al livello del mare perché aumenta lo spessore dello strato d'aria attraversato; per questo motivo si ha maggiore convenienza nel raccogliere la radiazione solare in siti posti al di sopra del livello del mare, ad esempio in montagna. Inoltre man mano che il Sole si allontana dallo zenit, aumenta l'assorbimento atmosferico in quanto aumenta lo spessore di atmosfera attraversata.

L'Italia ha un buon livello di irraggiamento solare, grazie alla posizione geografica, quindi tutto il territorio si presta benissimo all'uso di questa fonte energetica rinnovabile, pulita e gratuita (fig.2)



Figura 2. Radiazione solare incidente sull'Italia

È evidente che qualsiasi considerazione sulle relazioni fra l'energia solare e la Terra e sulla possibilità di utilizzare tale energia, è basata sulla conoscenza della distribuzione geografica della intensità della radiazione solare. Le informazioni sulla radiazione solare sono fornite generalmente dai servizi meteorologici, che raccolgono i dati tramite strumenti di massima precisione. Lo strumento che misura la **durata dell'irraggiamento solare** è l'**eliografo** (fig.3); questo è sensibile alla radiazione diretta, cioè ai raggi solari visibili che determinano le ombre, con un limite minimo di illuminazione che può variare tra 70 e 280 W/m².



Figura 3. Eliografo



Figura 4. Piranometro

L'irraggiamento totale si registra mediante un apparecchio chiamato **piranometro** (fig.4), che riceve l'energia solare proveniente da tutto l'emisfero celeste, vale a dire da un orizzonte, in modo da misurare la radiazione incidente su una superficie orizzontale. Esso ha una sensibilità compresa tra 0.3 e 3 mm nello spettro di lunghezza d'onda misurata. L'apparecchio più comunemente utilizzato è il **piranometro di Eppley**, costituito da due anelli concentrici in argento; quello interno è ricoperto di nero, quello esterno di bianco. Misurando la differenza di temperatura tra i due anelli mediante delle termocoppie è possibile ricavare il valore dell'irraggiamento totale. I piranometri in uso hanno una sensibilità tale che la tensione di uscita per l'illuminazione massima è dell'ordine di un millivolt o anche inferiore.

Il terzo tipo di misurazione è quello della **radiazione diffusa**. Si utilizzano in questo caso **piranometri** forniti di un dispositivo supplementare che serve da schermo alla radiazione diretta.

La **radiazione diretta** si misura con il **pireliometro** (fig5): questo strumento comporta un'apertura ridotta e una superficie ricevente che deve essere mantenuta ortogonale ai raggi del sole. L'uso del pireliometro rappresenta un'operazione alquanto delicata e le letture devono essere corrette tenendo conto della temperatura delle diverse parti dell'apparecchio.

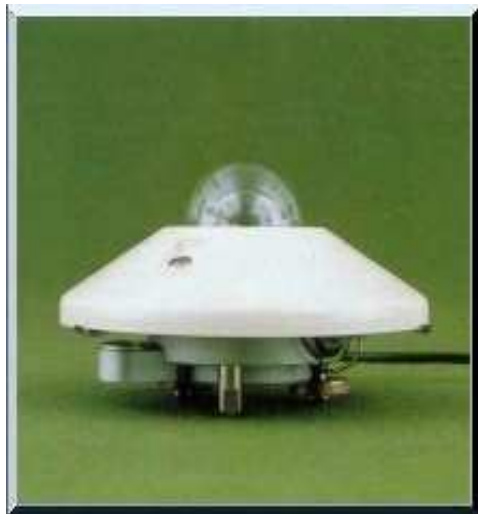


Figura 5. Pireliometro

Utilizzazioni energetiche dell'energia solare

La radiazione solare può essere utilizzata per fini energetici con:

- il solare termico, che consiste nella conversione dell'energia solare in energia termica, attraverso i collettori solari;
- il solare elettrico o fotovoltaico, che consiste nella conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica attraverso un fenomeno fisico-chimico denominato effetto fotovoltaico.

La tecnologia per l'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali e puliti per scaldare l'acqua o l'aria nell'utilizzo domestico e produttivo. La radiazione solare, nonostante la sua scarsa densità (che raggiunge 1kW/m^2 solo nelle giornate di cielo sereno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre. Il rendimento dei pannelli solari è aumentato di un buon 30 % nell'ultimo decennio, rendendo varie applicazioni nell'edilizia, nel terziario e nell'agricoltura commercialmente competitive. L'applicazione più comune è il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare a $45\div 60\text{ }^\circ\text{C}$ tra i 40 ed i 300 litri d'acqua in un giorno a secondo dell'efficienza che varia con le condizioni climatiche e con la tipologia di collettore. Le tecnologie per utilizzare l'energia solare per produrre calore sono di tre tipi: a bassa, media ed alta temperatura. Nel mondo sono installati oltre 30 milioni di metri quadri di pannelli solari di cui 3 milioni nell'Unione europea. In Italia l'applicazione dei pannelli solari per scaldare l'acqua può essere ancora molto potenziata. Nel 2000 sono stati installati circa 25.000 m^2 , molto pochi anche rispetto a paesi più freddi (per esempio l'Austria) ma più sensibili a questioni economico ambientali relative a questo settore. Il parco del solare termico in Italia è oggi di 350.000 m^2 , l'utilizzo maggiore è dovuto all'utenza domestica, ad impianti di prevalente utilizzo estivo ed alle piscine.

Le applicazioni più comuni sono relative ad impianti per acqua calda sanitaria, riscaldamento degli ambienti e piscine; sono in aumento casi di utilizzo nell'industria, nell'agricoltura e per la refrigerazione solare. I collettori solari ad aria calda si differenziano da quelli ad acqua per il fatto che in essi il fluido termovettore è costituito da aria. I campi d'applicazione per tali impianti sono tipicamente quelli di riscaldamento dell'aria per la climatizzazione ambientale e, in campo industriale, per i processi d'essiccazione di prodotti alimentari. Nel campo della climatizzazione ambientale il vantaggio di utilizzare i collettori ad aria consiste nel fatto che l'aria in essi riscaldata può essere inviata direttamente all'ambiente senza scambiatori di calore intermedi. Ciò permette un notevole aumento di efficienza del sistema, basti pensare che, di solito, con un sistema ad acqua, per riscaldare un ambiente a $20\div 22\text{ }^\circ\text{C}$, occorre portare l'acqua almeno a $60\div 70\text{ }^\circ\text{C}$.

Il principio di funzionamento dei collettori ad aria è pressoché lo stesso di quelli ad acqua, ma i parametri di dimensionamento variano sostanzialmente, in quanto l'aria scambia calore con maggiore difficoltà dell'acqua. Occorre perciò assicurare all'aria un tempo di permanenza più lungo all'interno del collettore; per questo motivo il percorso di solito è tortuoso, per rallentare il flusso dell'aria. Per il resto, il collettore ad aria, come quello ad acqua, è costituito da una piastra captante, una o più coperture trasparenti e l'isolamento termico. I collettori solari per piscina possono fornire fino al 100% delle necessità termiche delle piscine. Sono inoltre i più semplici da installare della categoria. La combinazione di un sistema di riscaldamento solare e l'utilizzo di una copertura notturna può accrescere sensibilmente la lunghezza della stagione balneare con un incremento dei costi gestionali molto contenuto. Le tipologie di collettori solari termici variano molto in termini di costo e di prestazioni. Per di più, 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 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.

Il solare termico in crescita in Europa

Secondo i dati comunicati nel corso di Solarexpo 2002, la fiera delle energie rinnovabili di Verona, il mercato europeo del solare termico ha raggiunto nel 2001 la quota di 11,5 milioni di metri quadrati di collettori installati, con un tasso di crescita annuale di circa il 30%. I paesi dell'UE, in cui si è sviluppato maggiormente lo sfruttamento dell'energia solare, sono tre : Germania, Grecia e Austria. Tuttavia, Grecia e Austria hanno una densità di installazioni per abitante maggiore della stessa Germania, dove ogni anno si installano 400.000-500.000 metri quadrati di collettori. Attualmente l'Italia non supera complessivamente i 350.000 metri quadrati e s'installano meno di 40.000 metri quadrati all'anno. In Italia ci sono 15 aziende produttrici di tecnologia, e la maggior parte degli operatori del settore sono distributori di prodotti esteri.

Lo sfruttamento termico dell'energia solare in Italia

La tecnologia di sfruttamento termico dell'energia solare per lungo tempo è stata ritenuta troppo costosa. Una ricerca di mercato svolta nel giugno 2001 dall'Enea mostra come il grande pubblico conosca superficialmente i "pannelli solari": ne ha solo sentito parlare, ma di fatto poco o nulla conosce del loro funzionamento, quali siano i loro rendimenti e quali i loro costi. La stessa ricerca evidenzia tuttavia come il 74% degli impianti in esercizio sia stato acquistato negli ultimi 4 anni e segnala che il 98% di quanti hanno adottato un sistema solare sono disposti ripetere l'investimento. Negli ultimi anni il mercato italiano del solare termico ha invertito la tendenza rispetto alla crisi degli anni '80. Nel 2000 sono stati installati quasi 40.000 mq con una crescita media annua, negli ultimi 5 anni, di circa il 15%. Il parco installato complessivo è attualmente di poco superiore ai 350.000 mq. A fronte di questa crescita si registra l'aumento della sensibilità verso lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia, che ha convinto il Ministero dell'Ambiente a promuovere numerose iniziative di incentivazione, sia per il settore pubblico che privato. In quest'ultimo caso sono stati stanziati 18 milioni di euro (al 50% messi a disposizione dalle regioni) per incentivare l'installazione di impianti solari termici per la produzione di calore a bassa temperatura presso tutti i soggetti (privati cittadini, Enti locali, imprese) attraverso bandi regionali.

Altri filoni d'incentivazione sono stati attivati nel corso del 2002-2003 per le piccole e medie imprese, nell'ambito degli utilizzi dei fondi nazionali della carbon tax, per le piccole isole e per le aree protette, nell'ambito di specifici programmi di diffusione delle fonti rinnovabili. Le applicazioni più comuni sono relative ad impianti per acqua calda sanitaria, riscaldamento degli ambienti e riscaldamento delle piscine, ma sono in aumento anche gli utilizzi nell'industria, nell'agricoltura e per la refrigerazione solare, pur essendo quest'ultima ancora una soluzione di frontiera.

Installare i sistemi solari conviene?

L'elevato livello di prezzo raggiunto attualmente dal gasolio per riscaldamento e del gas metano fa diventare conveniente l'installazione dei pannelli solari. Oggi anche le famiglie possono scegliere di utilizzare i sistemi solari, perché il risparmio sulle bollette energetiche consente di ripagare in alcuni anni il costo dell'investimento. Infatti, dopo la crisi petrolifera degli anni settanta (1970), con il conseguente forte aumento del prezzo del petrolio greggio, è stato il primo campanello di allarme. Negli anni seguenti, i Governi hanno gravato di tasse sempre crescenti i consumi del gasolio, del metano e dell'elettricità. La politica delle compagnie petrolifere ha riversato sul gasolio gli aumenti di prezzo maggiori. Dopo un breve periodo di prezzi bassi utilizzato per convincere gli utenti a collegarsi alla rete del gas, le aziende distributrici hanno aumentato il prezzo del gas metano portandolo quasi a livello di quello del gasolio, oltre tutto gravato da imposta e tasse piuttosto elevate. Il risultato di tutto ciò è che attualmente in Italia il peso delle bollette energetiche (elettricità, gasmetano e gasolio) raggiunge ormai il 10-20% del reddito delle famiglie.

Tecnologie disponibili

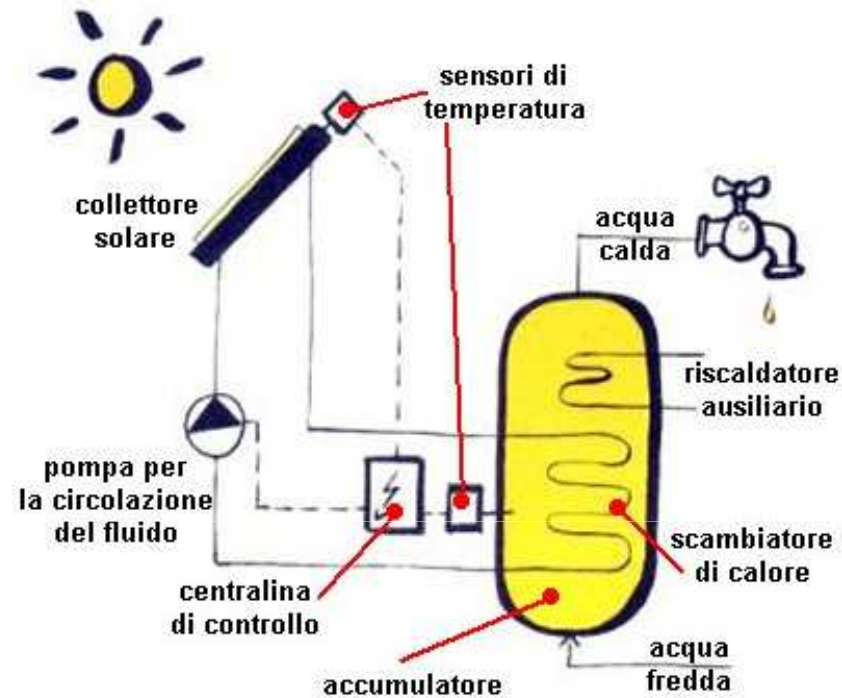
La tecnologia per l'utilizzo dell'energia solare, ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali e puliti per scaldare l'acqua o l'aria nell'utilizzo domestico e produttivo. La radiazione solare, nonostante la sua scarsa densità (che raggiunge 1kW/mq solo nelle giornate di cielo sereno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre.

Impianti a bassa temperatura (inferiore a 100 °C)

Un impianto solare (fig.6) per la produzione di acqua calda è composto dalle seguenti unità:

- uno o più collettori che captano la radiazione solare;
- un circuito idraulico che collega i pannelli solari con il serbatoio di accumulo;
- uno scambiatore di calore;
- un serbatoio di accumulo;
- un sistema di regolazione.

Figura 6. Impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria



Si analizza ora più in dettaglio le diverse parti dell'impianto.

Collettore

Il collettore è impiegato prevalentemente per la produzione di *acqua calda* (per uso civile, agricolo, industriale) o di *aria calda* (per riscaldamento di ambienti).

Oltre alla radiazione diretta, i collettori convertono in calore anche la *radiazione diffusa*. Quest'ultima non è trascurabile, raggiungendo anche il 20% di quella diretta in giornate con cielo sereno (quindi con un massimo teorico di 200 W/mq), ed arrivando anche a valori superiori in una giornata nuvolosa.

Il collettore solare è costituito dai seguenti elementi fondamentali (fig.7):

- *copertura trasparente*, costituita da una o più piastre di vetro o di plastica posta al di sopra della piastra assorbente, per ridurre gli scambi termici convettivi e radiativi tra la piastra e l'atmosfera;
- *piastra assorbente nera*, che provvede ad assorbire la radiazione ed a trasferire l'energia raccolta ad un fluido termovettore;
- *isolamento termico*, per ridurre al minimo le perdite per conduzione della piastra.
- *Involucro*, di forma parallelepipedica, con funzione di contenimento e di protezione da polvere, umidità, ed agenti atmosferici.



Figura 7. Schema di un collettore solare

La funzione di un collettore è quella di trasformare l'energia radiante del sole in energia termica del fluido che scorre all'interno dei tubi; il bilancio termico istantaneo del collettore è, secondo le leggi della trasmissione del calore, il seguente:

$$I_b A_c (ta) = Q_a = Q_u + Q_p + Q_{acc}$$

- I_b è l'intensità della radiazione solare globale incidente sul piano del collettore (W/mq).
- (ta) è chiamato prodotto effettivo trasmissività-assorbimento, ed è pari al prodotto del coefficiente di trasmissione della lastra trasparente "t" (dimensionale), ed il coefficiente di assorbimento della piastra "a" (dimensionale).
- A_c è l'area del collettore (mq).
- Q_a è la potenza termica assorbita dalla piastra (W).
- Q_u è la potenza termica utile trasferita al fluido termovettore (W).
- Q_p è la potenza perduta dal collettore verso l'esterno (W).
- Q_{acc} è l'energia termica accumulata dal collettore nell'unità di tempo (W), nulla in condizioni di regime stazionario.

I collettori solari, per massimizzare l'energia captata, devono avere un adeguato orientamento (verso sud, od al limite verso sud-est o sud-ovest) ed una adeguata inclinazione rispetto al piano orizzontale.

L'inclinazione ottimale dipende dalla latitudine del luogo in cui devono essere installati e dal periodo temporale per cui si intende ottimizzare il funzionamento:

- $i = L + 15^\circ$ se l'utilizzo del pannello è prevalentemente invernale;
- $i = L - 15^\circ$ se l'utilizzo del pannello è prevalentemente estivo;
- $i = L$ se si intende ottimizzare il funzionamento dei collettori per tutto l'anno

dove "i" è l'inclinazione del pannello rispetto al piano orizzontale [gradi sessagesimali], L è la latitudine della località [gradi sessagesimali].

Al fine di assicurare la massima captazione dell'energia incidente, la lastra di copertura deve risultare estremamente trasparente per lunghezza d'onda comprese tra 0,4 e 2,5 μm ; la piastra assorbente investita dalla radiazione solare, ne assorbe gran parte e si riscalda emettendo a sua volta energia sotto forma di radiazione termica la cui lunghezza d'onda dipende dal livello di temperatura secondo la legge di Wien:

$$\lambda = 2897/T$$

dove λ è la lunghezza d'onda in μm e T la temperatura in Kelvin.

L'energia emessa dalla piastra, essendo la temperatura massima raggiunta inferiore ai 100°C, rientra nel campo di lunghezza d'onda corrispondente all'infrarosso.

Questa energia emessa dalla piastra investirà la copertura trasparente che rifletterà verso la piastra stessa il 50% dell'energia che altrimenti sarebbe stata irradiata completamente verso l'esterno. Aumentando il numero di vetri di copertura del collettore, si recuperano frazioni crescenti dell'energia emessa dalla piastra. Nella pratica non vengono installati più di due o tre lastre di vetro, perché all'aumentare del numero di vetri si riduce la trasparenza globale del collettore e quindi la quantità di radiazione assorbita. Tra le lastre di vetro solo quelle realizzate con vetro limpido a basso contenuto di Fe_2O_3 soddisfano pienamente i requisiti, con una trasmittanza solare del 90% ed una termica inferiore al 10%. Gli inconvenienti del vetro sono rappresentati dalla sua fragilità e dal relativamente alto peso specifico. In alcune applicazioni sono state impiegate coperture in plastica (polimetilmetacrilato), meno fragili e più leggere di quelle in vetro; questi materiali presentano una trasmittanza solare maggiore di quella del vetro, per contro risultano in generale meno opachi alla radiazione termica.

La copertura trasparente va posizionata a 2,5- 4 cm di distanza dalla piastra assorbente per ridurre le perdite causate dai moti convettivi dell'aria all'interno del collettore solare.

I tipi di collettori attualmente più diffusi in Italia sono quattro:

- vetrati piani (molto comuni, di costo medio e versatili);
- non vetrati (ad uso esclusivamente estivo, generalmente piscine o impianti balneari, molto economici);
- sottovuoto (ad alta efficienza, più costosi, ma ben utilizzabili tutto l'arco dell'anno);
- ad accumulo integrato (ben utilizzabili in zone a clima mite).

I collettori solari piani sono la tipologia più diffusa sul mercato in quanto sono i più versatili nei loro possibili utilizzi e condizioni di esercizio (fig.8).

Il nome di “pannelli piani” deriva dalla caratteristica di avere il corpo assorbente costituito da una lastra piana, all'interno o sotto della quale scorre un fluido vettore a bassa temperatura di solidificazione.

Questi collettori possono essere impiegati in tutte le località (latitudine e altitudine) per tutto il periodo dell'anno. Sono utilizzati per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, sia nei processi industriali a bassa temperatura.

Figura 8. Collettore piano

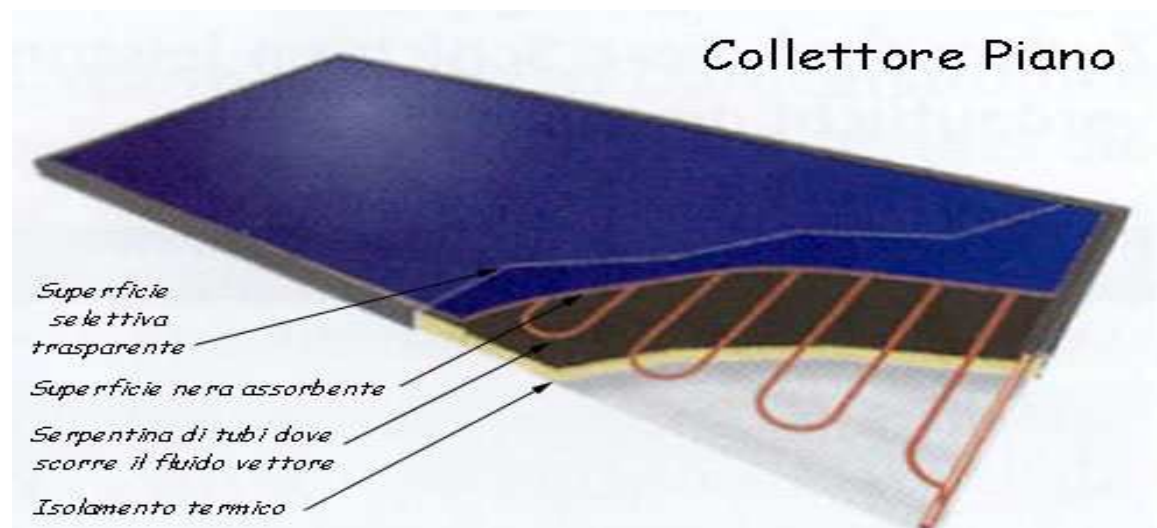


Figura 9. Collettore non vetrato



Collettori non vetrati, sono una tipologia largamente diffusa e affermata sul mercato per quanto riguarda gli utilizzi stagionali (fig.9). In questi collettori il corpo assorbente è costituito da un insieme di tubi ottenibili per estrusione di particolari materiali plastici (polipropilene, neoprene o PVC), all'interno dei quali scorre il liquido termovettore.

Si tratta di tubi prodotti in fasce modulari della larghezza di un metro e di lunghezza variabile e sono collegati alle estremità da due tubazioni dello stesso materiale che hanno funzione di collettori.

Il collettore solare è composto unicamente dalla piastra assorbente.

Vengono utilizzati in climi temperati, e solo nella stagione calda per il riscaldamento dell'acqua di piscine scoperte, per docce di stabilimenti balneari, campeggi e alberghi stagionali.

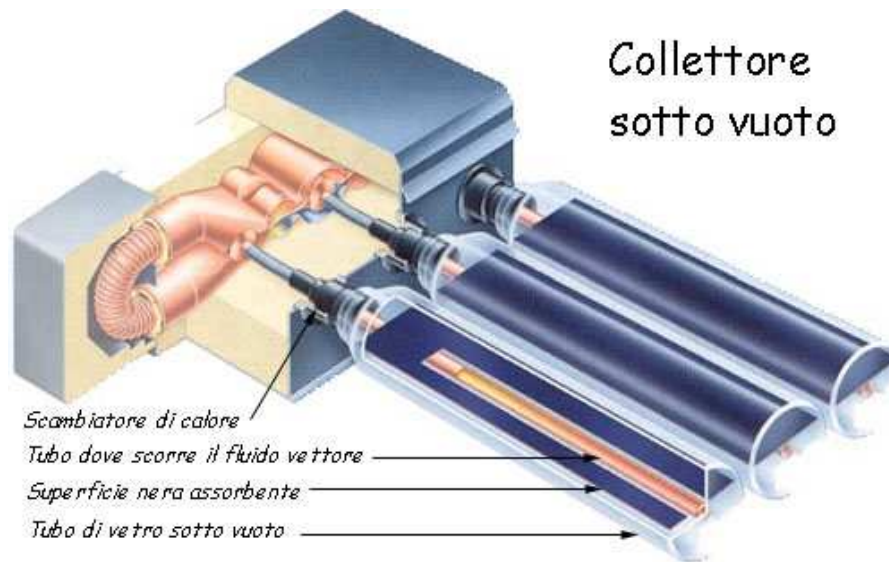


Figura 10. Collettore sotto vuoto

Collettori sotto vuoto, si tratta di una tecnologia più sofisticata e costosa ma, consentono l'utilizzo di impianti solari per tutto l'anno, anche in climi particolarmente rigidi, (circa un 15-20% di aumento di produzione energetica), grazie al sostanziale annullamento delle perdite per convezione (fig. 10). Il costo maggiore rispetto alle altre soluzioni, ne consiglia l'adozione solo in casi particolari (temperature dell'acqua più elevate e/o clima rigido). Sono, nella maggior parte dei casi collettori, di forma tubolare, permettendo l'inclinazione ottimale della piastra captante, anche se disposti secondo superfici orizzontali o verticali.

In questo caso il corpo assorbente è costituito da una piccola superficie metallica (ricoperta di vernice selettiva) applicata sui tubi contenenti il fluido vettore. Ciascun tubo è inserito in un contenitore cilindrico di vetro all'interno del quale viene creato il vuoto. La parete inferiore del cilindro (interna o esterna) può venire ricoperta di una superficie riflettente che aumenta la radiazione incidente sul tubo e la superficie captante.

I collettori sotto vuoto possono operare in località con basse temperature e con scarsa insolazione, in tutto il periodo dell'anno. Sono utilizzati per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e riscaldamento degli ambienti.

Collettori ad accumulo integrato, si tratta di una tipologia non troppo diffusa, sebbene opportune condizioni di esercizio offrano degli indubbi vantaggi rispetto ai collettori piani (Fig.11).

Sono collettori impiegati, prevalentemente, in climi temperati e per tutto l'anno: sia per la produzione di acqua calda sanitaria, sia per il riscaldamento dell'acqua per processi industriali a bassa temperatura.

In questi collettori, il corpo nero assorbente è costituito da uno o più serbatoi (dalla forma cilindrica o di parallelepipedo) al cui interno scorre l'acqua che verrà poi utilizzata. Sono dei particolari impianti che inglobano in una unica struttura tutti i componenti dell'impianto: collettore, circuito idraulico e sistema di accumulo. Sono impianti funzionanti a circolazione naturale: il serbatoio è posto al di sopra del pannello stesso e l'acqua calda si accumula in esso a causa di moti convettivi naturali che si instaurano grazie al riscaldamento dell'acqua (gli strati di acqua riscaldata hanno una densità minore di quella fredda e quindi tendono a "galleggiare" su questi ultimi: questo movimento delle molecole di acqua è il moto convettivo naturale).



Figura 11. Collettore ad accumulo integrato

Fluido termovettore

Il fluido termovettore è l'elemento essenziale dei collettori solari, permette di trasportare il calore ricevuto dal sole verso i sistemi d'accumulo e scambio termico, esso può essere di varia natura: *aria, acqua o altri liquidi*.

L'aria è un fluido vettore che ha vantaggi e svantaggi rispetto all'acqua.

Vantaggi: costo zero, immediata utilizzabilità per il riscaldamento dell'ambiente, nessun problema di corrosione o congelamento, semplicità dei sistemi di controllo.

Svantaggi: minore aumento della temperatura del pannello e ridotto scambio termico con la piastra per il basso calore specifico dell'aria, che comporta un basso rendimento del pannello.

Per aumentare lo scambio termico bisogna imporre un moto turbolento all'aria che circola nel collettore, dando un profilo frastagliato e ruvido alla piastra assorbente, badando però a non indurre grosse perdite di carico che andrebbero poi compensate con l'impiego di potenti ventilatori.

L'acqua potrebbe essere usata direttamente come acqua calda sanitaria anche se, solitamente, cede il suo calore (la sua energia termica) mediante uno scambiatore all'acqua che verrà utilizzata effettivamente dalle utenze. Si usa quasi sempre lo scambiatore di calore per motivi igienici e anche perchè all'acqua che circola nel collettore viene solitamente addizionato liquido antigelo (normalmente glicole etilenico).

Circuito idraulico

Il circuito idraulico comprende: le tubazioni (che trasportano l'acqua), la pompa di circolazione (negli impianti a circolazione forzata o attivi), le valvole ed il vaso di espansione (per contenere la dilatazione del liquido quando aumenta la propria temperatura), in esso circola il fluido vettore, che trasporta il calore catturato dai collettori solari.

I circuiti idraulici possono essere di tipo *aperto* o *chiuso*, nel primo caso il fluido vettore che circola nei collettori è lo stesso del circuito di utilizzo, nel secondo caso invece, il fluido termovettore che circola nei collettori cede calore al fluido d'utilizzo tramite uno scambiatore.

Nelle località dove esiste la possibilità di congelamento dell'acqua circolante nel collettore la scelta è limitata al circuito chiuso, che è il solo a consentire il ricorso a miscele anticongelanti oltre che atte ad evitare incrostazioni.. Per ovviare ai rischi del ghiaccio si utilizza una miscela di acqua e glicole (tab.1), un po' come avviene negli impianti tradizionali di riscaldamento, dove si immette nel circuito un liquido anti-congelante.

Tabella 1. Miscela di acqua e di glicole propilenico

Liquido termovettore: Glicole propilenico puro atossico				
Glicole	100%	67%	33%	25%
Acqua	0%	33%	67%	75%
Congelamento °C	-50	-40	-18	-10
Ebollizione °C	220	160	155	150

Il circuito chiuso si presta inoltre ad una regolazione più precisa e quindi ad una migliore utilizzazione dell'energia solare captata. La circolazione del fluido vettore può essere naturale o forzata, qualunque sia il circuito idraulico.

Nella *circolazione naturale* (o a termosifone o sistemi passivi) il fluido vettore circola nell'impianto grazie alla differenza di densità fra colonna ascendente e quella discendente, in tal caso l'accumulatore deve essere allocato ad una altezza superiore rispetto al collettore. I lati positivi di questo tipo d'impianto sono legati principalmente al fatto che la circolazione, avvenendo naturalmente, non necessita di pompe o di centraline di controllo, risparmiando così sul costo di acquisto e di manutenzione. I lati negativi invece si riesca a posizionare nel sottotetto sono dovuti al fatto che il serbatoio deve essere sistemato più in alto rispetto ai pannelli solari e, quindi, si potrebbe peggiorare l'estetica dell'abitazione, a meno che non si riesca a posizionare il serbatoio nel sottotetto.

Il serbatoio a circolazione naturale, normalmente orizzontale, può contenere già nel suo interno eventuali valvole di sicurezza e un vaso di espansione per evitare danni in caso di sovrariscaldamento.

Nella *circolazione forzata* (o a sistemi attivi) per mezzo di pompa di circolazione (più propriamente detta "circolatore") la circolazione all'interno del circuito solare avviene grazie ad una pompa elettrica controllata da una centralina elettronica; l'acqua calda all'interno dei pannelli solari viene spinta all'interno del serbatoio che si può trovare in qualsiasi luogo dell'abitazione. Il lato positivo è appunto legato al fatto che il serbatoio può essere posizionato dovunque all'interno dell'abitazione, mentre all'esterno appariranno solo i pannelli solari adagiati sul tetto, senza alcuna modifica dell'estetica dell'abitazione. Rimane, eventualmente, un problema legato alle maggiori sollecitazioni a cui è sottoposto il sottotetto per ospitare un serbatoio pesante, una volta riempito, tra i 300 e 500 Kg. Si hanno quattro categorie di impianti solari che si distinguono a seconda del tipo di circuito solare (aperto o chiuso) e della circolazione utilizzata (naturale o forzata).

Il sistema di fig. 12 è utilizzato per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria delle docce di impianti con utilizzo stagionale (per esempio per stabilimenti balneari o campeggi) o per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria è per uso domestico con *utilizzo annuale*.

Circuito Solare aperto a circolazione naturale

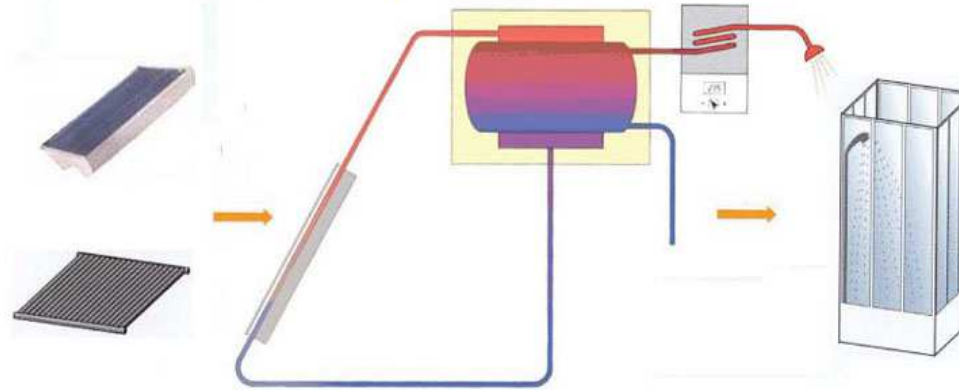


Figura 12. Circuito solare aperto a circolazione naturale

Circuito Solare aperto a circolazione forzata

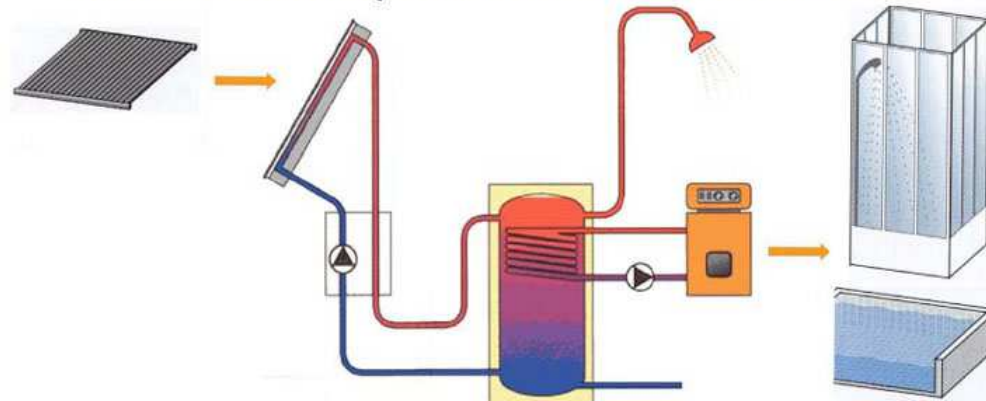


Figura 13. Circuito solare aperto a circolazione forzata

Il sistema di fig.13 è utilizzato per il riscaldamento centralizzato dell'acqua calda sanitaria di impianti con *utilizzo stagionale* (per esempio per stabilimenti balneari o campeggi) oppure per il riscaldamento dell'acqua delle piscine scoperte.

Circuito Solare chiuso a circolazione naturale

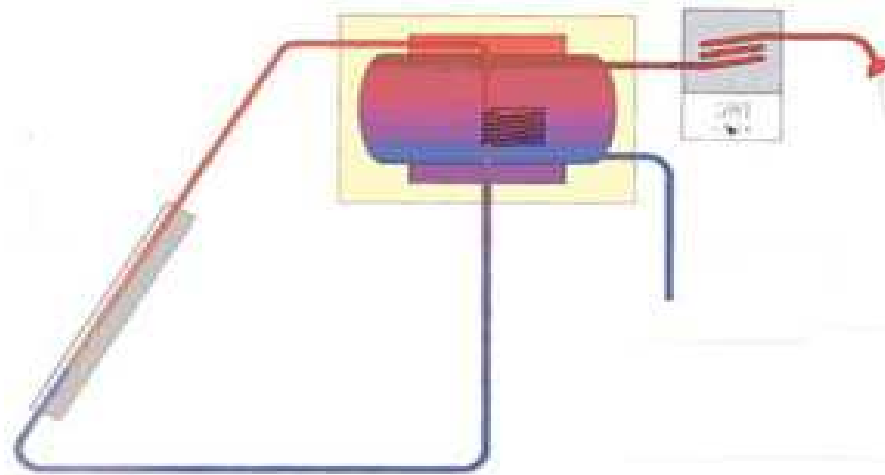


Figura 14. Circuito solare chiuso a circolazione naturale

Il sistema di fig.14 è utilizzato per impianti per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria ad uso domestico, con utilizzo annuale.

Circuito Solare chiuso a circolazione forzata

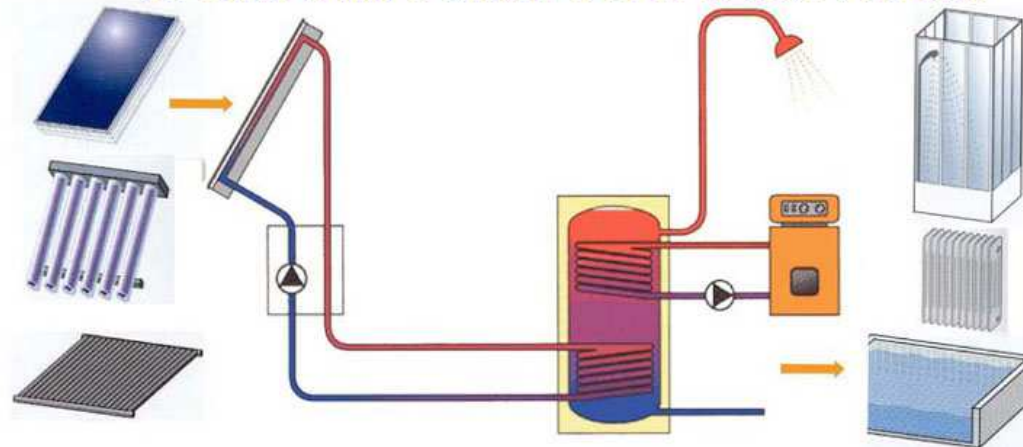


Figura 15. Circuito solare chiuso a circolazione forzata

Il sistema di fig. 15 è utilizzato per il riscaldamento centralizzato dell'acqua calda sanitaria di impianti con utilizzo annuale, per il riscaldamento dell'acqua delle piscine coperte o scopribili e per il riscaldamento degli ambienti, ed altro di simile.

Serbatoio di accumulo

All'interno del serbatoio di accumulo dell'acqua (coibentato per meglio conservare il calore) si trovano due circuiti idraulici separati:

il circuito primario del pannello, nel quale circola il fluido termovettore del circuito primario del pannello che, cedendo il calore ricevuto dal sole, riscalda l'acqua contenuta nell'accumulatore e *il circuito dell'acqua*, collegato all'impianto idraulico di casa, che permette l'utilizzo dell'acqua calda per i servizi domestici. Il fluido termovettore non si mescola con l'acqua sanitaria o con quella impiegata nel circuito di riscaldamento. Le dimensioni del serbatoio sono proporzionali alla superficie del pannello: la capacità del serbatoio, in linea di massima, è pari a 50 - 80 litri per ogni metro quadrato di superficie solare installata. Inoltre l'accumulatore (denominato "boiler solare"), che solitamente è installato all'interno dell'edificio nel locale caldaia, è dotato di un sistema di riscaldamento ausiliario (termico o elettrico). In alternativa, se già esiste nella casa una caldaia a gas a controllo elettronico per la produzione dell'acqua calda sanitaria, si può collegare il sistema solare in serie all'impianto termico esistente, al quale fornirà acqua preriscaldata. Questa soluzione permette di disporre di acqua calda senza limiti di consumo, utilizzando al massimo le capacità del pannello solare.

Impianti ad alta temperatura

Si ottengono alte temperature (oltre 500 °C) concentrando con eliostati i raggi solari su una caldaia. Gli *eliostati* sono specchi che, a mezzo di un complesso sistema, inseguono automaticamente il sole nel suo moto apparente intorno alla terra. Questo sistema, viene oggi impiegato esclusivamente nelle *centrali eliotermoelettriche*.

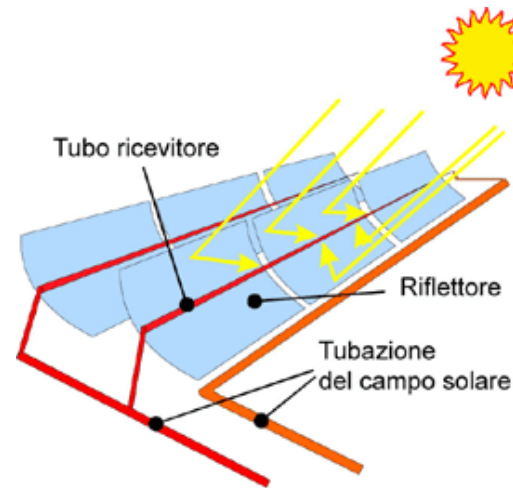
Le tecnologie ad alta temperatura sono relative a *sistemi a concentrazione parabolici lineari o puntuali*. Impianti con collettori parabolici puntuali o a disco sono stati sviluppati in Germania, Stati Uniti, Israele e Australia. I recenti sviluppi tecnologici fanno prevedere un rilancio applicativo di questa tecnologia sia per la generazione di energia elettrica, sia per la produzione di calore di processo per l'industria chimica.

In Italia, l'esperienza di maggiore rilievo nel solare termico ad alta temperatura è stata realizzata agli inizi degli anni ottanta con la costruzione della più grande centrale solare del mondo presso Adrano in provincia di Catania. L'impianto chiamato Eurelios, è costituito da una torre centrale alla sommità della quale è posta la caldaia riscaldata dalla radiazione riflessa da un campo di specchi. La centrale ha la potenza di 1 MW.

In queste centrali il fluido è portato allo stato di vapore dal calore raccolto sulla sommità di una torre posta al centro di un campo di specchi oppure all'interno di condotti che percorrono la linea del fuoco di specchi concentratori parabolici. Successivamente il fluido si espande evolvendo in un impianto turbo-vapore simile a quelli utilizzati nella generazione termoelettrica tradizionale.

La tecnologia attualmente più matura è quella dei *collettori parabolici lineari* (fig.16), da oltre 10 anni sono in esercizio a Kramer Junction, in California (fig.17), nel deserto del Mojave, nove grandi impianti di questo tipo, per oltre 350 MW complessivi.

Figura 16. Schema funzionale di un collettore parabolico di un impianto solare termico [fonte ENEA].



In tali impianti, costituiti da file di collettori collegati fra loro che formano una rete di alcune centinaia di metri, i raggi solari sono focalizzati su tubi ricevitori posizionati lungo la linea focale di ciascuna fila di concentratori. Un fluido vettore del calore, di solito olio minerale pompato attraverso i tubi ricevitori, alimenta una stazione di potenza localizzata al centro dell'impianto. Il calore così prodotto viene trasformato in vapore per azionare un gruppo turbo-generatore per la produzione di energia elettrica. La temperatura di funzionamento è di 390 °C.



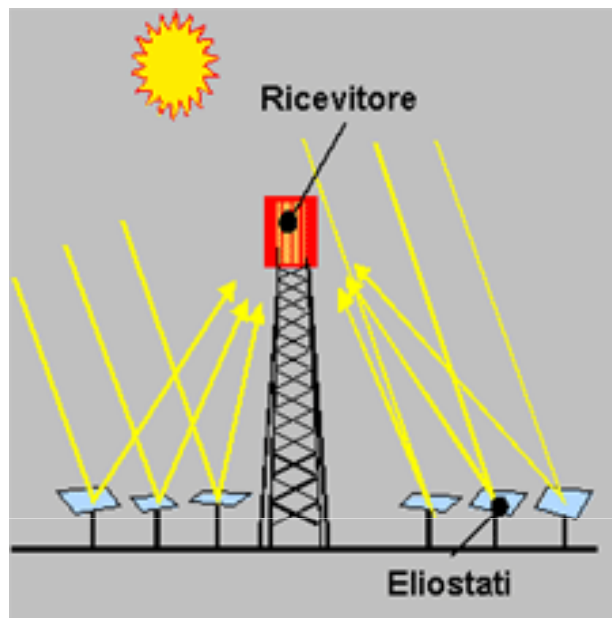
Figura 17. Impianto a collettori parabolici lineari di Kramer Juctio (California)

Questa tecnologia, tuttavia, presenta alcune limitazioni, che ne hanno impedito la diffusione più ampia. I problemi ancora da risolvere riguardano:

- l'intermittenza e variabilità (casuale, giornaliera e stagionale) della produzione di energia elettrica, conseguenza dell'intermittenza e variabilità della fonte solare; infatti, in questi sistemi non è possibile stoccare grandi quantità di olio caldo per mediare le variazioni a breve termine dell'intensità solare e il ciclo giorno-notte. Quindi la turbina e l'alternatore devono essere progettati per la potenza solare di picco ed essere capaci di sopportare appieno le variazioni aleatorie di flusso solare. Queste variazioni e il ciclo giorno- notte sono compensati da un generatore di supporto, che produce quindi una frazione apprezzabile dell'energia tramite combustibili fossili convenzionali. *Essi sono dunque sistemi "ibridi" solare-combustibile fossile;*
- limitata efficienza di conversione degli impianti, dovuta, da un lato, alla limitata efficienza di raccolta dell'energia solare termica e, dall'altro, alla bassa temperatura di lavoro (inferiore ai 400 °C) del fluido utilizzato per la raccolta dell'energia solare, che limita l'efficienza del ciclo di conversione termoelettrica;
- il costo elevato dell'energia elettrica prodotta conseguenza della bassa efficienza e dell'elevato costo unitario degli impianti (il sistema di specchi è costoso, in quanto basato su di un foglio di vetro fragile e difficilmente allineabile con la precisione richiesta);
- l'inflammabilità del liquido portatore di calore alla temperatura di funzionamento al contatto dell'aria e la sua tossicità.

L'intermittenza e la variabilità della produzione, inoltre, limitano l'utilizzabilità dell'energia elettrica prodotta, riducendone il valore commerciale. Al fine di eliminare tali inconvenienti, sono stati sviluppati gli impianti a torre (fig.18). In essi, un sistema di specchi, che inseguono il moto del sole su un doppio asse, chiamati eliostati, riflette i raggi solari su di un ricevitore montato in cima ad una torre localizzata al centro dell'impianto. Il calore prodotto è raccolto, alla sommità della torre, dal ricevitore contenente un fluido, ad esempio una miscela di sali, che oltre ad assorbire il calore ha anche la funzione di accumulo dell'energia termica. Con il calore accumulato nei sali fusi si produce vapore a 540 °C per l'azionamento di un turbo generatore elettrico.

Figura 18. Schema funzionale di un impianto solare a torre



I miglioramenti introdotti da questo tipo di impianti rispetto alla precedente tecnologia sono:

- la sicurezza del liquido trasportatore di calore, che è un nitrato di sodio e potassio, noto concime di origine naturale, non infiammabile e non tossico;
- il miglioramento del rendimento del ciclo termodinamico, legato all'innalzamento della temperatura di operazione da 390 a 565 °C;
- la possibilità di introdurre un accumulo termico per ovviare alle variazioni giornaliere dell'intensità solare. Ciò comporta una continuità di funzionamento del gruppo turbina-alternatore (che può essere dimensionato secondo la potenza media e non più di picco, pari a circa 3 volte la potenza installata), con conseguente riduzione del costo di installazione;
- la riduzione del costo per unità di area degli specchi ottenuta con l'adozione di una nuova tecnologia basata su materiali compositi (honeycomb), più leggeri, robusti ed economici della semplice lastra di vetro.

Gli impianti a torre solare con accumulo di energia hanno efficienze di conversione superiori e investimenti iniziali inferiori rispetto ai sistemi a collettori parabolici lineari, presentano ancora degli svantaggi che rendono difficile l'applicabilità su grande scala nelle condizioni tipiche di terreno mediterraneo e per applicazioni di grande potenza. I principali sono:

- le dimensioni eccessive della torre solare, che deve avere un'altezza proporzionale all'estensione del campo solare (ad esempio l'impianto Solar Two fig.19 — realizzato in California - da 10 MW ha una torre di circa 85 metri di altezza e alcuni progetti per impianti di potenza superiore prevedono torri di altezza fino a 200 metri); la localizzazione del sistema di raccolta dell'energia solare a tali altezze dal suolo non è né semplice né economica, anche tenendo conto di altri fattori come il vento, la struttura del terreno, ecc.;
- la precisione con cui gli specchi devono essere realizzati, che si ripercuote sul loro costo, dipende dalla lunghezza focale richiesta, che nel caso delle torri solari è una frazione di chilometro, mentre nel caso dei collettori parabolici solari è inferiore ai due metri;
- la massima precisione nel sistema di puntamento di ciascun eliostato, necessaria per assicurare il "centramento" della luce solare sul ricevitore posto in cima alla torre.

Figura 19. Impianto Solar Two da 10 MW (California)



Benefici del solare termico

Le tipologie di collettori solari termici variano molto in termini di costo e di prestazioni. Per di più, 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. La percentuale di energia termica prodotta annualmente da un collettore solare termico 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. In ambito urbano l'acqua calda sanitaria è per la maggior parte dei casi prodotta con scaldabagni elettrici o caldaie a gas. La produzione di acqua calda sanitaria, con l'uso di energia elettrica dissipata dalla resistenza presente nello scaldabagno, risulta un processo costoso dai punti di vista energetico, ambientale ed economico, se confrontato con la produzione di acqua calda con caldaie a gas. L'introduzione aggiuntiva di un collettore solare termico, che sostituisca parte della produzione di calore, comporta benefici ancora maggiori.

E' interessante verificare con un esempio pratico il dimensionamento di un collettore solare. Si consideri un collettore necessario per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un appartamento abitato da 4 persone. I dati a disposizione sono:

- Latitudine: 39° 20'
- Longitudine: 16°28'
- Temperatura media esterna: 14.4 °C (aprile valore medio mensile)

In base al consumo di acqua (tab.2), si valuta il fabbisogno energetico della famiglia:

Tabella 2. Consumo di acqua della famiglia

Applicazioni	Temperatura acqua in °C	Consumo l/giorno
Scarico wc	Freddo	30-50
Lavandino	35	5-15
Vasca da bagno	40	100-170
Doccia	40	70
Bidet	40	25
Bucato a freddo	30-40	50
Bucato a caldo	50-60	65
Cucina	40	35
Lavastoviglie	60	50

- consumo medio di acqua a persona: $G = 50 \text{ l / d}$
- T_u = temperatura di utilizzo : 45 °C
- T_a = temperatura acqua di rete: 15 °C
- c_s = calore specifico dell'acqua : 1 kcal / kg °C

La quantità pro capite di energia termica necessaria per scaldare l'acqua, espressa in kcal/d è:

$$Q = F c_s (T_u - T_a)$$

Dove :

F : consumo di acqua in kg/d, ricordando che la densità dell'acqua è $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

$$Q = 1500 \text{ kcal/d}$$

Nel caso in esame si considera una famiglia di 4 persone, quindi l'energia necessaria è:

$$Q_{\text{tot}} = 1500 \text{ kcal/d} \times 4 = 6000 \text{ kcal/d}$$

Consultando il grafico di figura 20, si può ricavare l'energia media incidente su un m² di superficie orientata a sud, in base alla latitudine del luogo scelto per l'impianto solare. Si ricava che annualmente un pannello inclinato a 45° può raccogliere:

$$E = 1350 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ anno} = 3182 \text{ kcal/m}^2 \text{d}$$

Ricordando che :

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

In genere i costruttori di collettori solari forniscono, per ogni modello, dei grafici per la determinazione del rendimento (η), (fig.21) . Il loro uso si basa sulla conoscenza della temperatura media tra mandata e ritorno del collettore (Δt), la temperatura ambiente ($t_{\text{amb.}}$) e la radiazione solare istantanea (i).

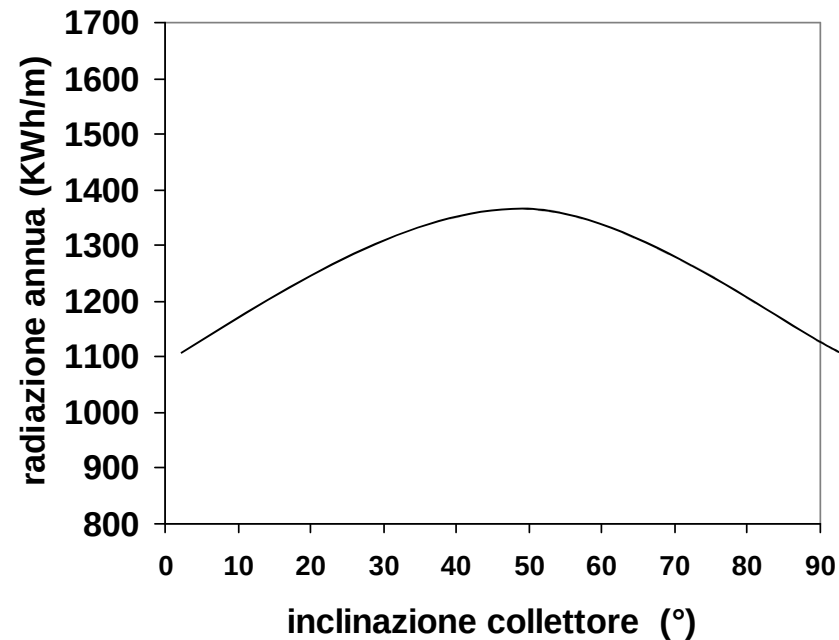
Nel caso in esame si hanno i seguenti dati:

1) $\Delta T = T_i + T_u / 2 = 40 + 52 / 2 = 46 \text{ }^\circ\text{C}$

• T_i = temperatura mandata pannelli solari

• T_u = temperatura ritorno pannelli solari

Figura 20. Radiazione incidente su un m² di collettore orientato verso sud



2) Temperatura ambiente = 14,4 °C (valore medio mensile)

3) $i = 500 \text{ W / m}^2$

Utilizzando una relazione che lega queste tre grandezze otteniamo:

$$\Delta T - T_{\text{amb}} / i = 46 - 14,4 / 500 = 0.0632$$

valore che ci permette di entrare nel grafico di figura 21 per ottenere un $\eta = 0,45$

Per determinare energia effettivamente consumata dai collettori si deve tener conto delle dispersioni tra il collettore solare e il bollitore e tra il bollitore e le utenze, stimate intorno al 10% .

Quindi il consumo di energia è:

$$E_{\text{eff}} = 3182 \text{ kcal / m}^2\text{d} \times 0,45 \times 0,9 = 1289 \text{ kcal / m}^2\text{d}$$

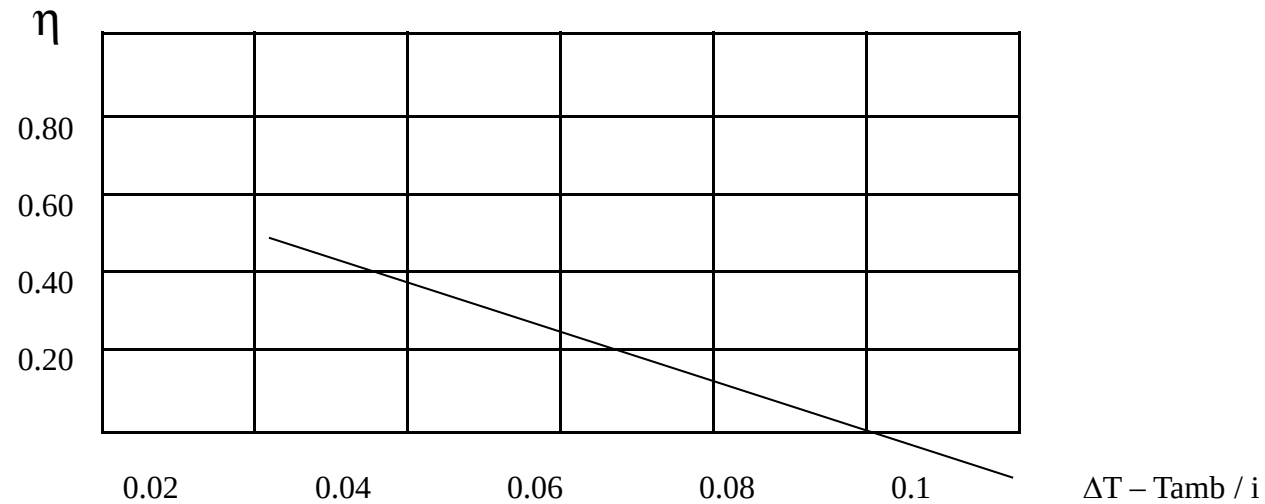


Figura 21. Rendimento dei collettori

Dal rapporto tra le kcal necessarie per riscaldare l'acqua per tutta la famiglia e l'energia sviluppata da un collettore si ottengono i mq di collettori necessari :

$$A = 6000 / 1289 = 4,64 \text{ mq}$$

Dai risultati si evince che con una superficie di **5 mq** si può ottenere una copertura energetica media annua sufficiente. Per migliorare la capacità captante del collettore si può variare la sua inclinazione di +/- 10°-20° a seconda della stagione.

I benefici del solare termico sono notevoli se confrontati con le tecnologie tradizionali (caldaia a metano, boiler elettrico, stufa a legna) sia in termini di *riduzione dell'inquinamento ambientale*, sia di *risparmio economico ed energetico*.

Di seguito vengono analizzati in sintesi gli effetti *energetici, economici ed ambientali* che l'introduzione di tre diverse tipologie di impianti per il riscaldamento per acqua sanitaria possono conseguire, in relazione all'introduzione di un sistema solare termico attivo, in particolare si analizzeranno le seguenti possibili soluzioni:

- sostituzione dello scaldabagno elettrico con un sistema integrato solare/gas;
- integrazione del sistema gas preesistente con impianto solare;
- integrazione del sistema elettrico con impianto solare (per impossibilità di sostituzione con sistema gas).

Il primo caso interessa molte utenze domestiche e pubbliche, di piccola taglia, potrebbero essere incentivate, in analogia con i provvedimenti sulle rottamazioni, ad una sostituzione dello scaldabagno elettrico.

Nel secondo caso l'integrazione del sistema gas preesistente con l'impianto solare, prevede un costo di integrazione ridotto al minimo; si tratta di fatto di utenze che hanno già scelto il gas e potrebbero, con sistemi solari termici, risparmiare il 60 % annuo di gas combusto.

Il terzo caso è relativo a realtà in cui il sistema di riscaldamento non può che essere elettrico, per ragioni urbanistiche o per la particolarità dell'utente; per esempio in centri storici non serviti dalla rete del gas, in campi nomadi o altre strutture di accoglienza.

Produzione di acqua calda con scaldabagno elettrico

In questo caso, l'utilizzo di energia termica per produrre acqua sanitaria comprende una doppia trasformazione. In una prima fase occorre produrre energia elettrica (tipicamente, in centrali termoelettriche, più raramente in idroelettriche). L'energia elettrica prodotta, poi, trasportata all'utenza, dovrà a sua volta trasformarsi in energia termica per effetto Joule per essere conferita all'acqua. Per produrre con uno scaldabagno elettrico 1500 kcal (1,7 kWh termici) sono necessari circa 1,94 kWh elettrici, avendo stimato l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90%. Mediamente, una famiglia di quattro persone utilizza, quindi, 7,74 kWh elettrici al giorno per la produzione di acqua calda sanitaria. Ma è da considerare che, per la produzione di ogni kWh elettrico, vengono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,54 kWh, sotto forma di energia primaria. Considerando questa doppia trasformazione da energia primaria in energia elettrica e da elettrica a termica, emerge che, per produrre l'acqua calda necessaria giornalmente per soddisfare il fabbisogno pro capite sono necessarie $2,54 \times 1,94 = 4,93$ kWh primari equivalenti a 4.240 kcal.

In tal modo solo il 35% dell'energia primaria consumata viene effettivamente utilizzata dall'utente. Nel caso, poi, di una famiglia di quattro persone, si arriva a 16.960 kcal/giorno, pari a 17,72 kWh (termici).

Produzione di acqua calda con caldaia a gas

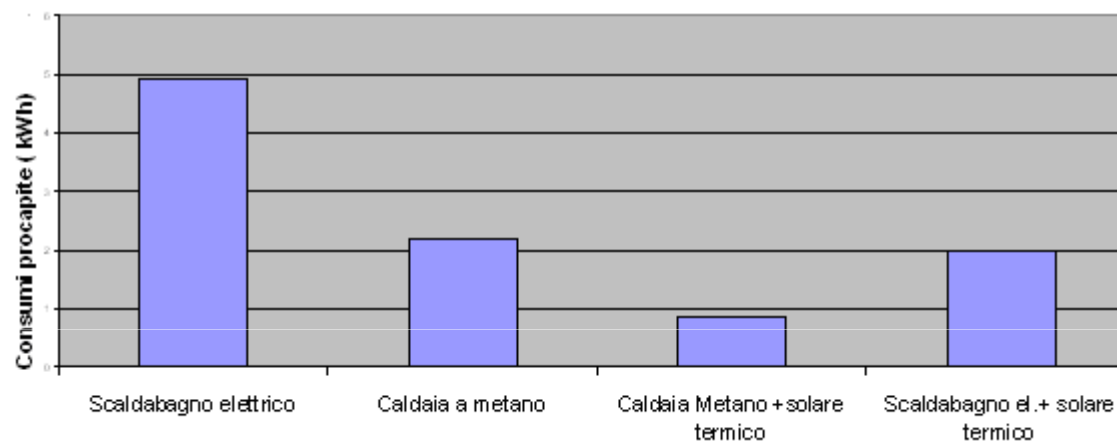
Una caldaia a gas ha ovviamente una resa energetica diretta più alta, perché evita la conversione più energivora (e più exergivora), che consiste nel passaggio energia termica in energia elettrica. Per questo la resa globale si aggira sull'80÷85%. La produzione di calore e il conseguente riscaldamento dell'acqua sanitaria avviene per combustione diretta del metano.

Nel caso peggiore di rendimento del 80%, per produrre 1500 kcal sono quindi necessarie in un giorno 1875 kcal (ossia 2,18 kWh). Nel caso di una famiglia di quattro persone si arriva a 7500 kcal/giorno.

La figura 22 mostra il risultato del confronto tra il fabbisogno energetico necessario per la produzione di acqua calda sanitaria con uno scaldabagno elettrico, con una caldaia a gas, un sistema caldaia gas/collettore solare termico ed un sistema scaldabagno elettrico/collettore solare termico, ferme restando le ipotesi sopra enunciate ed il quantitativo procapite di acqua necessaria.

Si osserva allora 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.

Figura 22. Confronto tra i fabbisogni energetici per la produzione di acqua calda sanitaria



E' il caso più interessante, dunque, che porta ad *una riduzione dell'82% del consumo energetico, a parità di servizio reso*. Nel confronto tra il sistema basato sull'integrazione di collettore solare con una caldaia a gas e la caldaia stessa, si nota come il consumo passi da 2,18 kWh, per il caso della sola caldaia, a 0,87 kWh, per il sistema integrato. Nel passaggio dal solo scaldabagno elettrico ad uno scaldabagno integrato da collettori solari, il consumo energetico scende da 4,93 a 1,97 kWh.

1.2.2. Analisi economica

Per valutare i benefici provenienti dall'installazione di collettori solari, il costo a metro quadro è poco indicativo: bisogna considerare il costo reale in riferimento alla quantità di acqua calda consumata in un anno. Una famiglia di quattro persone che consumi 50-60 litri di acqua calda a persona ogni giorno, per un totale di 80-100 mila litri annui, spende circa 500 euro per riscaldare l'acqua con energia elettrica e 390 euro se la scalda con caldaia a metano. Se l'impianto solare integra la caldaia per il 60-70%, il risparmio annuo oscilla tra 260 e 360 euro. In 5 anni si ammortizza quindi una spesa iniziale compresa fra 1.300 e 1.800 euro, che corrisponde al costo dei sistemi monoblocco a circolazione naturale disponibili commercialmente per utenze di 3-4 persone. Bisogna sottolineare che le garanzie sui sistemi sono dell'ordine dei 10 anni e che la vita attesa dell'impianto è di almeno 20 anni.

1.2.3. Analisi ambientale

Un primo indicatore di confronto tra le diverse tecnologie a disposizione può essere ritenuta la quantità di anidride carbonica mediamente immessa nell'ambiente per produrre, nelle stesse condizioni, acqua calda sanitaria. Nel corso dell'analisi energetica, si è stimato che il fabbisogno di energia elettrica di un'utenza monofamiliare (4 persone) per produrre acqua calda sanitaria con uno *scaldabagno elettrico* è pari a 7,74 kWh (elettrici) /giorno. In Italia, per produrre un kwh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,58 kg di anidride carbonica (CO₂), uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra. [Dati ENEL 2001]. Pertanto, lo scaldabagno in esame è indirettamente responsabile dell'immissione nell'atmosfera di:

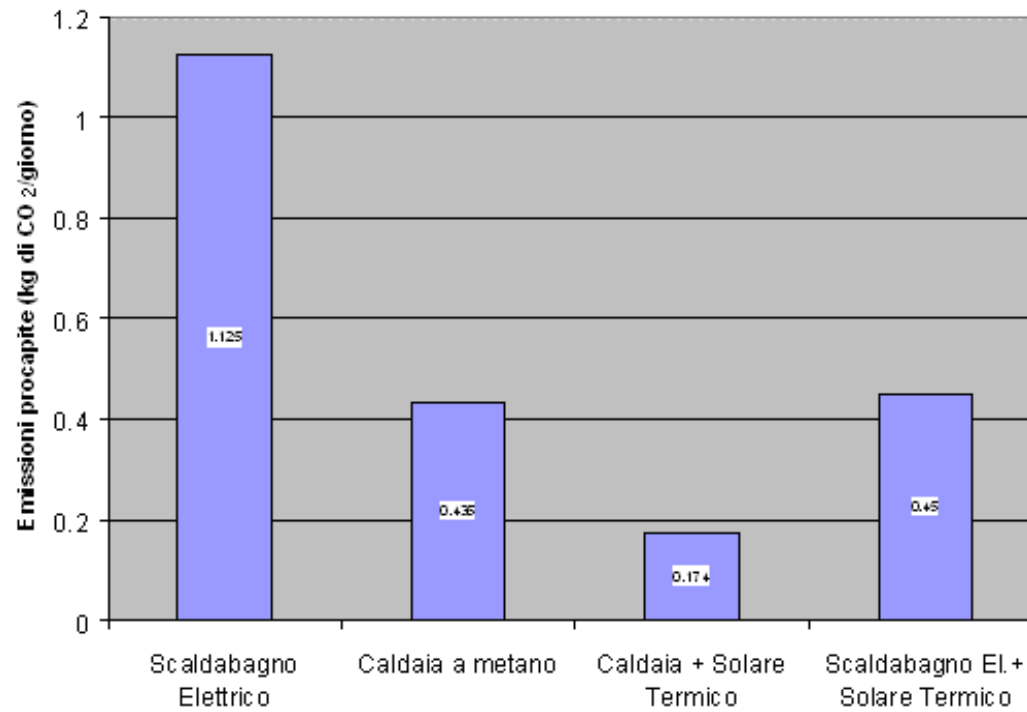
$$0,58 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh (elettrico)} * 7,74 \text{ kWh (elettrici) /giorno} = 4,5 \text{ kg CO}_2/\text{giorno}$$

Questo significa che, per la sola acqua calda sanitaria, utilizzando lo scaldabagno elettrico, una famiglia immette quotidianamente nell'ambiente 4,5 kg CO₂ (con una media procapite di 1,125 kgCO₂/giorno). Nel caso di una *caldaia a metano*, nella combustione si formano 0,25 kg CO₂ per ogni kWh termico; una famiglia di 4 persone dà quindi origine alla seguente produzione giornaliera di anidride carbonica:

$$0,25 \text{ kg CO}_2 * 6,97 \text{ kWh (termici)} = 1,74 \text{ kg CO}_2 / \text{giorno}$$

con una media procapite di 0,435 kgCO₂/ giorno. Nel caso di *impianti ibridi solare_gas*, ossia impianti solari posti ad integrazione della caldaia a gas, assicurando lo stesso comfort durante tutto l'arco dell'anno, è possibile risparmiare, a Roma, il 60% del consumo di gas: la stessa famiglia produrrà, allora, giornalmente 0,69 kg CO₂, con una media procapite di 0,174 kgCO₂/ giorno. La figura 23 riepiloga le emissioni di anidride carbonica generate nei diversi casi analizzati. La riduzione delle emissioni di CO₂ ottenuta con il sistema ibrido è notevole soprattutto rispetto al primo scenario: si passa da 1,125 kg di CO₂ emessi a 0,22 kg di CO₂, con una riduzione percentuale dell'80%. Tra il caso di impiego della caldaia a metano e quello di integrazione di questa con i collettori si verifica una riduzione, in valore assoluto, di 0,33 kg di CO₂ procapite, mentre lo scaldabagno elettrico, se impiegato con il solare, porta ad una riduzione di 0,675 kg di CO₂.

Figura 23. Confronto sulle emissioni di anidride carbonica causate dalle diverse soluzioni esaminate



Costo di un impianto di Solare termico

Si valuterà ora in dettaglio il costo di un impianto solare termico per produrre:

- a) Acqua calda sanitaria
- b) Riscaldamento della propria abitazione

Costi per ottenere acqua calda sanitaria dal sole

Il Sole può regalarci tranquillamente l'80 - 95 % dell'acqua calda che tutti i giorni utilizziamo per lavarci le mani, per fare la doccia, per lavare le stoviglie, o anche per lavare gli indumenti, se si riesce a collegare il proprio impianto solare anche all'ingresso dell'acqua calda per la lavatrice o per la lavastoviglie. Con calcolo abbastanza indicativo, ma sufficientemente attendibile si può indicare un risparmio di 100-180 metri cubi di metano a persona annualmente, con una mancata emissione di anidride carbonica (che ricordiamo essere la causa maggiore dell'effetto serra) di 230-400 kg annui per persona. A queste quantità occorre aggiungere gli sprechi che comunque la caldaia, o lo scaldabagno ad accumulo, generano molto facilmente, ad esempio con la semplice fiamma pilota, o con il funzionamento ad intermittenza dello scaldabagno, per mantenere elevate quantità d'acqua alla giusta temperatura, durante la giornata, o la notte. Questi sprechi saranno di ulteriori 150-250 metri cubi di metano annuali, da aggiungere ai risparmi effettivi calcolati in base al numero di persone. Occorre tener presente i costi al metro cubo del metano, o del combustibile usato dalla propria caldaia, per calcolare il risparmio, alla luce anche delle tasse, della tassa aggiuntiva per superamento della soglia di consumo, dell'IVA, dell'inflazione.

Si tenga presente che gli *impianti solari per l'acqua calda riescono a produrre più del 90% del fabbisogno di acqua calda per il periodo che va da aprile ad ottobre*, e quindi per tutto questo periodo la caldaia o lo scaldabagno possono rimanere praticamente spenti, abbattendo quegli sprechi che non vanno sottovalutati come evidenziato precedentemente. Ad esempio la sola fiamma pilota di molte caldaie consuma quasi 1 metro cubo di metano al giorno inutilmente, e se si considera il periodo detto sopra sono praticamente 200 giorni=200 metri cubi.

Il costo tutto compreso per un impianto solare dipende dalla quantità di acqua calda che si vuole produrre.

•*2-3 persone, Kit da 2 pannelli solari con serbatoio da 300 litri*, comprensivo di IVA, trasporto, installazione e pratiche burocratiche: **5.200 Euro**, da cui si ottiene normalmente un rimborso di 1.000-1.200 Euro: quindi il costo totale diventa di 4.000-4.200 Euro, da cui si può richiedere il recupero dell'IRPEF e arrivare così ad un costo complessivo di **2.400-2.500 Euro!**

•*3-5 persone, Kit da 3 pannelli solari con serbatoio da 300 litri*, comprensivo di IVA, trasporto, installazione e pratiche burocratiche: **5.800 Euro**, da cui si ottiene normalmente un rimborso di 1.300-1.600 Euro: quindi il costo totale diventa di 4.200-4.500 Euro, da cui si può richiedere il recupero dell'IRPEF e arrivare così ad un costo totale di **2.500-2.700 Euro!**

•*5-8 persone, Kit da 4 pannelli solari con serbatoio da 500 litri*, comprensivo di iva, trasporto, installazione e pratiche burocratiche: **6.800 Euro**, da cui si ottiene normalmente un rimborso di 1.500-1.800 Euro: quindi il costo totale diventa di 5.000-5.300 Euro, da cui si può richiedere il recupero dell'IRPEF e arrivare così ad un costo totale di **3.000-3.150 Euro!**

Il risparmio che si ottiene sulla bolletta del metano, installando un kit solare per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, varia, per una famiglia di 4 persone, dai 300-400 Euro/anno per il Nord Italia, ai 400-500 Euro / anno per il Sud Italia. Il risparmio è quasi doppio se lo scaldabagno utilizzato per scaldare l'acqua sanitaria è elettrico. Si risparmia anche in energia elettrica, in quanto l'acqua calda ottenuta dal Sole può in molti casi essere immessa nella lavastoviglie e nella lavatrice. A livello di manutenzione non sono necessari interventi molto impegnativi: la pulizia dei vetri dei pannelli ogni 2-3 anni, il controllo annuale dei vari indicatori di pressione presenti nell'impianto e verificare il livello del liquido anti gelo all'interno dell'impianto. E' interessante verificare il tempo necessario per ammortizzare un impianto solare, si divide il costo dell'impianto per il costo dei metri cubi di metano risparmiati, in base al numero dei familiari, e in base al tipo di caldaia che si possiede: il risultato sono gli anni in cui si riesce ad ammortizzare l'impianto. Ad esempio se l'impianto è costato 2.000 Euro, e la famiglia è composta di 4 persone e si possiede una caldaia del tipo con la fiamma pilota sempre accesa, allora più o meno si impiegherà circa 4-6 anni, (se si richiedi il rimborso IRPEF del 41% ovviamente anche il tempo di ammortamento diminuirà di conseguenza).

Costi per ottenere riscaldamento della propria abitazione dal sole

Il riuscire ad ottenere il riscaldamento della propria abitazione, grazie all'energia solare, va detto subito, è un compito assai arduo, anche perché quando occorre il riscaldamento, purtroppo è anche il periodo in cui il Sole è più debole. Con le moderne tecnologie si riesce ad ottenere una copertura anche *del 60% del riscaldamento*, (oltre chiaramente quasi al 100% di fabbisogno dell'acqua calda sanitaria per docce o lavaggio stoviglie).

Un *impianto di riscaldamento funzionante a bassa temperatura*, cioè del tipo a pannelli radianti sotto pavimento, o a pannelli radianti a parete, o comunque un impianto che per funzionare usi acqua calda a temperature di 40-50 gradi al massimo. Questo perché d'inverno i pannelli solari non riescono a produrre acqua molto calda, come quella usata nel normale impianto di riscaldamento a caloriferi, mentre riescono a produrre acqua a 40-50 gradi, sufficiente invece per far funzionare abbastanza bene un impianto di riscaldamento del tipo a bassa temperatura. Installare un buon numero di pannelli solari, quasi esclusivamente del tipo sotto vuoto, questo perché questo tipo di pannello solare ha un rendimento ottimo anche durante i mesi invernali.

Occorre prevedere comunque un alto numero di pannelli solari: almeno 9 metri quadrati per coprire circa 150 metri quadri di abitazione. Installare uno o più serbatoi di grande capacità anche da 1.500 - 2.000 litri possedere un'abitazione con un buon isolamento termico. Si tenga presente che nel caso si possegga un riscaldamento del tipo a normali caloriferi, difficilmente si riuscirà ad ottenere un risparmio di più del 20-30% delle spese di riscaldamento, a meno di spendere un capitale in impianto solare. Il problema tra l'altro non lo risolve semplicemente aggiungendo pannelli solari, in quanto l'aggiunta di pannelli comporta poi dei problemi durante il periodo caldo: avere troppi pannelli significa produrre una grande quantità di acqua calda, che va accumulata in maniera adeguata, quindi occorre avere dei serbatoi molto grandi, pena il rischio di raggiungere temperature troppo alte all'interno del serbatoio o del circuito solare! Se si possiede una piscina il problema si risolve utilizzando la gran quantità d'acqua in surplus per il riscaldamento della piscina, ma se non si possiede, l'unica maniera fattibile è prevedere dei serbatoi molto grandi, oppure si devono coprire durante i mesi estivi alcuni dei pannelli solari. In parole povere: se si possiede un impianto di riscaldamento a bassa temperatura si hanno ottime possibilità di abbattere di molto le spese di riscaldamento, altrimenti l'impresa diviene piuttosto ardua, a meno di abitare in paesi di mare, o nel Sud Italia, dove effettivamente il riscaldamento richiede meno sforzi energetici. Il costo indicativo di un impianto solare per riscaldamento di circa 150 metri quadri di abitazione è di circa 8.000 - 10.000 Euro, considerando 9 metri quadrati di pannelli di tipo a tubi sotto vuoto di ottima qualità e un serbatoio di 2.000 litri, ma ricordiamo che si deve comunque disporre di un impianto di riscaldamento a bassa temperatura per avere un risparmio del 60%. Su tale spesa possono esserci a disposizione dei finanziamenti da parte di alcune Regioni (si veda contributi regionali), oppure in ogni caso è possibile avere lo sgravio dell'irpef del 36% sul costo dell'impianto, che significa avere la possibilità di uno sconto di circa il 36%.

A questo punto, si propone anche un'alternativa: installare un impianto normale e ben dimensionato per la produzione di acqua calda sanitaria, ed eventualmente anche un piccolo impianto ad energia fotovoltaica per la produzione di corrente elettrica. In questo modo si ha sempre a disposizione acqua calda per tutto l'anno e, producendo energia elettrica per tutto l'anno, si recuperano almeno i costi dell'energia elettrica, piuttosto che sprecare energia durante i mesi estivi, riscaldando acqua che poi non riusciamo ad utilizzare. Il risparmio che si ottiene così sull'energia elettrica ci farà apparire meno amara la bolletta del gas per il riscaldamento invernale.

L'Energia

1.1. Il ciclo dell'energia

Nello studio dell'energia, un primo passo necessario è quello di ricostruire il percorso dei trattamenti e delle elaborazioni che essa subisce, a partire dalla sua disponibilità naturale, per arrivare alla forma adatta agli usi finali. Occorre, quindi, verificare in quali forme la natura fornisce all'uomo l'energia e quali sono le fonti (dette *primarie*) attraverso le quali tale disponibilità “naturale” si esplica. È questo il punto di partenza del percorso che l'energia compie, attraverso processi di trasformazione e conversione, per giungere agli usi finali. Tale percorso è graficamente sintetizzato nel diagramma di Fig. 1.1, indicato come *schema generale di riferimento*, che distingue le forme di energia cosiddette **primarie** o **naturali**, le forme **secondarie**, prodotte attraverso la rielaborazione ed il trattamento fisico di quelle, l'**energia elettrica** e quella adatta agli **usi finali**.

Dalla figura, seguendo le indicazioni delle frecce, si possono ricostruire i percorsi possibili nell'uso dell'energia. E così si evince come alcune forme di energia primaria siano direttamente impiegabili per gli *usi finali* (ad esempio: il gas naturale o il carbone impiegati per il riscaldamento domestico, l'energia eolica o quella idraulica impiegate nei mulini fin dall'antichità, ovvero ancora l'energia eolica utilizzata per la navigazione).

Più spesso, le forme di energia disponibili in natura vanno adattate alla domanda proveniente dagli utenti finali, ovvero trasformate e/o convertite ¹. Si passa così dalle *forme primarie* (ad es.: l'energia chimica potenziale contenuta negli idrocarburi liquidi) alle *forme secondarie* (ad es.: i prodotti della raffinazione del petrolio) e queste vengono direttamente impiegate per gli usi finali, oppure, al pari di alcune fonti primarie (ad es. gas naturale, carbone, etc.), possono alimentare gli impianti termoelettrici che rendono disponibile l'energia elettrica. Quest'ultima viene, a sua volta, impiegata dagli utenti energetici finali.

Nello schema, un particolare risalto viene dato all'*energia elettrica*, per la sua peculiarità e la priorità che essa va acquisendo nel contesto energetico complessivo, rispetto alle altre forme di energia utilizzate.

Nei prossimi paragrafi si esamineranno dapprima, brevemente, le principali forme di energia utilizzabili. Sarà poi opportuno soffermarsi sulle unità di misura utilizzate nel settore energetico, poiché alcune di esse, anche se ormai di uso comune fra gli operatori, non appartengono al Sistema Internazionale. In realtà, come si vedrà meglio nel seguito, tali particolari unità sono state scelte per le proprie caratteristiche e per l'entità, così da risultare di agevole uso nell'analisi dei flussi energetici.

Infine il Capitolo si concluderà con l'analisi delle fonti energetiche naturali, preceduta da considerazioni generali sui flussi energetici globali che riguardano la Terra, vista come un sistema che interagisce con lo spazio circostante.

¹ Come si vedrà meglio in seguito, occorre distinguere i processi di *conversione* e di *trasformazione* dell'energia: nel primo tipo si modifica la forma fisica dell'energia (ad es. passaggio dall'energia meccanica a quella elettrica per mezzo di un alternatore), nel secondo rimane invariata la forma fisica, ma si modificano i parametri che la caratterizzano (ad es. modifica dei valori di tensione e corrente ai due capi di un trasformatore elettrico).

Come si vedrà meglio in seguito, occorre distinguere i processi di *conversione* e di *trasformazione* dell'energia: nel primo tipo si modifica la forma fisica dell'energia (ad es. passaggio dall'energia meccanica a quella elettrica per mezzo di un alternatore), nel secondo rimane invariata la forma fisica, ma si modificano i parametri che la caratterizzano (ad es. modifica dei valori di tensione e corrente ai due capi di un trasformatore elettrico).

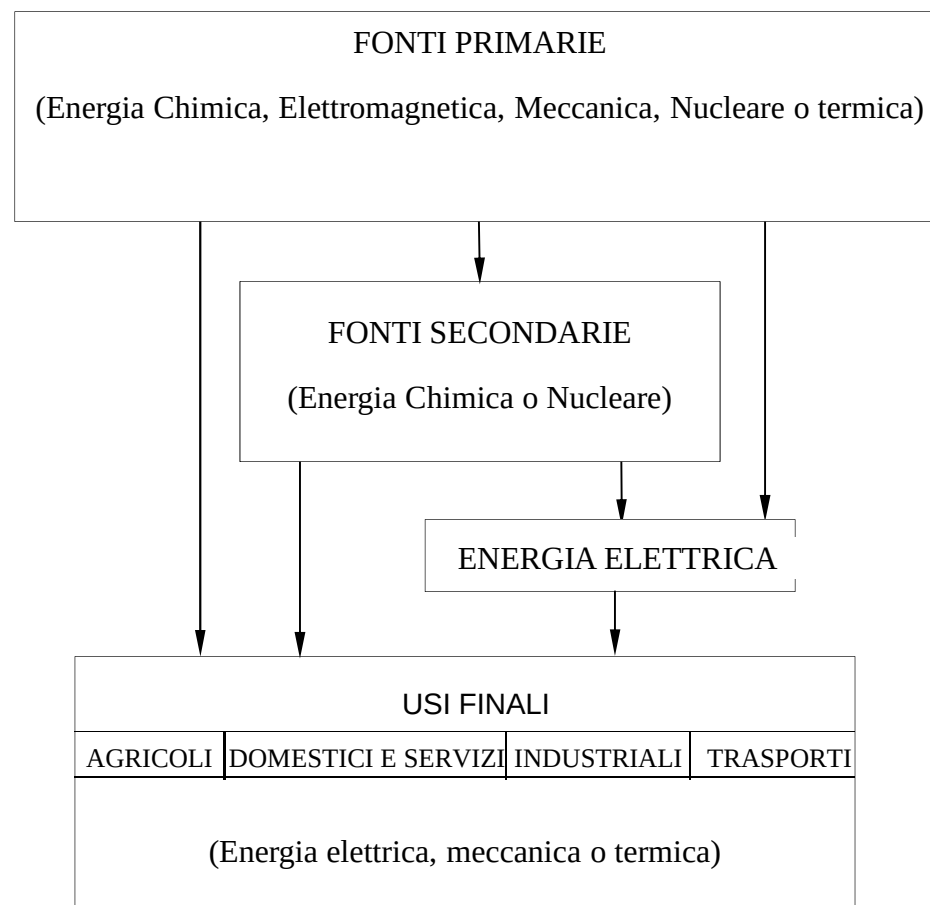


Fig. 1.1 - Schema generale del ciclo dell'energia

1.2. Forme di energia

L'energia, secondo la definizione più diffusa, è l'attitudine di un sistema a compiere lavoro.

L'energia presente in natura e di cui l'uomo può disporre può essere distinta in un certo numero di forme eterogenee. In Tab. 1.1 sono riassunte le forme di energia attualmente utilizzate; qui di seguito se ne esaminano brevemente caratteristiche e proprietà.

Tabella 1.1 - Forme di energia

- Chimica
- Elettrica
- Elettromagnetica
- Meccanica
 - cinetica
 - potenziale (e di pressione)
- Nucleare
- Termica

Tale classificazione è importante perché consente di mettere in evidenza l'utilità di ogni tipo di energia in relazione all'uso che di essa si può fare.

Infatti, in base al valore dei parametri che la caratterizzano ed all'attitudine di ciascuna forma di energia ad essere convertita in lavoro utile da destinare, sotto determinate condizioni, ad un particolare uso finale, è possibile, di volta in volta, scegliere la fonte energetica più conveniente, ovvero il processo di conversione più idoneo a perseguire l'obiettivo prefissato.

Ad esempio, in tutte le applicazioni in ambienti in assenza di ossigeno libero, come quelle spaziali o sottomarine, sarà poco conveniente, se non impossibile, utilizzare l'energia chimica attraverso reazioni convenzionali di combustione, quelle cioè che sviluppano calore mediante reazioni esotermiche di ossidazione.

In questi casi si raccomandano altri processi di conversione, oppure altri tipi di energia: una soluzione tecnicamente interessante può essere rappresentata dall'energia nucleare, assistita da impianti termodinamici a ciclo chiuso, o dal ricorso a sistemi speciali per la conversione energetica, quali alcuni dispositivi, cosiddetti, di "conversione diretta".

1.2.1. Energia chimica

È insita nelle forze di legame presenti, in particolari sostanze, a livello molecolare ed atomico. Può essere definita di tipo **potenziale**, a sottolinearne il carattere intrinseco, che può estrinsecarsi, attraverso opportune reazioni, sotto forma di energia termica oppure elettrica. Nel primo caso si parla di *reazioni esotermiche* (in generale di ossidazione) e la quantità di calore apportata, denominata *tonalità termica di reazione* o *calore di reazione*, equivale, in valore assoluto, alla variazione di entalpia che compete a ciascuna reazione. La generazione di energia elettrica è dovuta, invece, alla variazione di energia libera relativa a reazioni di ossidoriduzione o al gradiente di concentrazione di sostanze diverse in determinate soluzioni (in questo caso si parla di *energia libera di mescolamento*). L'energia chimica prevalentemente utilizzata è quella posseduta dai combustibili fossili.

1.2.2. Energia elettrica

Questo fattore ormai irrinunciabile nella società umana moderna è prodotto dal movimento di elettroni liberi nei conduttori. Sebbene sia improprio parlare di “energia elettrica”, perché, insieme al campo elettrico, è sempre presente un campo magnetico e quindi si dovrebbe parlare più propriamente di “energia elettromagnetica”, è tuttavia comoda questa distinzione per definire il tipo di energia utilizzata solo per le sue caratteristiche elettriche. Va sottolineato che l'energia elettrica disponibile in natura (ad esempio, attraverso il fenomeno della fulminazione) non è direttamente sfruttabile allo stato attuale della tecnologia. È quindi necessario produrre l'elettricità artificialmente.

1.2.3. Energia elettromagnetica

Legata all'interazione tra un campo elettrico ed uno magnetico, è l'unico tipo di energia che si trasmette senza il supporto di alcun mezzo fisico e quindi anche nel vuoto, dove è esente da fenomeni di dissipazione. In natura, è presente innanzitutto nella radiazione solare, che provvede, in misura largamente preponderante, al sostentamento energetico del nostro pianeta (vedi § 1.4).

1.2.3. Energia elettromagnetica

Legata all'interazione tra un campo elettrico ed uno magnetico, è l'unico tipo di energia che si trasmette senza il supporto di alcun mezzo fisico e quindi anche nel vuoto, dove è esente da fenomeni di dissipazione. In natura, è presente innanzitutto nella radiazione solare, che provvede, in misura largamente preponderante, al sostentamento energetico del nostro pianeta (vedi § 1.4).

1.2.4. Energia meccanica

La sua disponibilità in natura è di tre tipi:

a) potenziale e di pressione, derivante dal campo di attrazione gravitazionale che agisce sulla Terra; è posseduta da corpi in quiete e dipende dalla posizione (“quota”) occupata da essi in tale campo, con riferimento ad una posizione (eventualmente convenzionale) cui si attribuisce il contenuto di energia potenziale di riferimento. L'acqua accumulata in un bacino, ad esempio, possiede un'energia potenziale proporzionale alla sua quota rispetto ad un riferimento convenzionale (nel caso, la posizione della turbina a valle) (Fig. 1.2).

Di interesse è anche l'energia potenziale (mista, questa volta ad energia di movimento), dovuta all'interazione gravitazionale tra la Terra e gli altri corpi celesti (principalmente, la Luna ed il Sole); essa si manifesta con le maree.

Di carattere potenziale è anche l'energia di *pressione*, strettamente legata alla variabile di stato omologa. Anche questa può essere illustrata con un esempio “idraulico”, nel senso che è sempre presente una componente di tale forma di energia in un fluido in movimento;

b) cinetica, legata al movimento dei corpi (solidi, liquidi, aeriformi): ad esempio, il vento (si parlerà in questo caso di *energia eolica*) o l'acqua dei fiumi (*energia idraulica*) e del mare (*energia del moto ondoso*), etc.;

1.2.5. Energia nucleare

Detta anche energia “atomica”, è dovuta alle forze di coesione presenti nel nucleo degli atomi. In natura viene liberata direttamente da elementi, generalmente di grande massa atomica, detti *radioisotopi*², che emettono spontaneamente radiazioni e/o particelle (*radioattività naturale*).

² I radioisotopi sono gli isotopi radioattivi di alcuni elementi chimici. Si ricorda che si indicano con il termine “isotopi” gli atomi di una stessa specie chimica che hanno eguale numero atomico (numero di protoni), ma numeri diversi di neutroni nel nucleo, quindi differente peso atomico. Gran parte degli elementi si trova in natura sotto forma di miscele di isotopi con composizione costante.

Inoltre, alla stregua dell'energia chimica, anche per l'energia nucleare esiste la forma di tipo *potenziale* che può essere liberata attraverso il processo di fissione di nuclei di atomi pesanti (quali alcuni isotopi dell'uranio) o di fusione di nuclei di atomi leggeri (come, ad esempio, l'idrogeno ed i suoi isotopi); si parla in questo caso di *radioattività artificiale*.

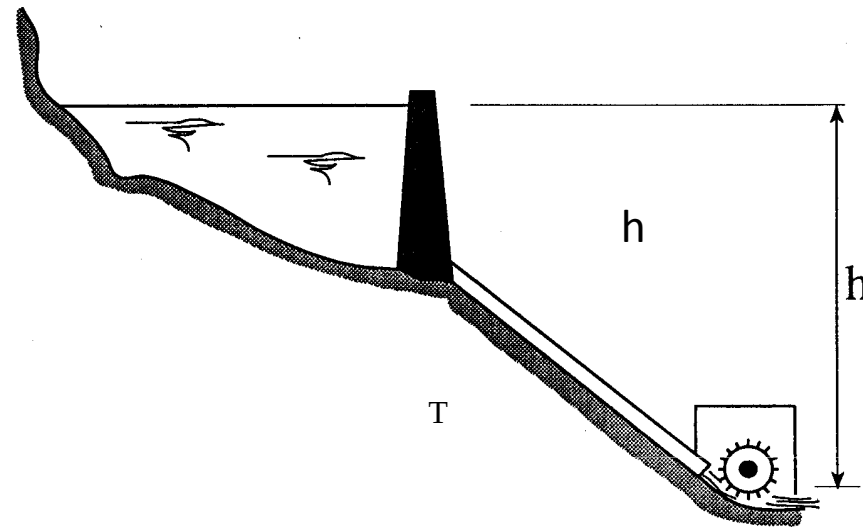


Fig. 1.2 - Acqua accumulata in un bacino montano con energia potenziale proporzionale alla quota h di dislivello dalla turbina T .

1.2.6. Energia termica

È quella contenuta in ogni corpo per il fatto che esso si trova ad una temperatura superiore allo zero assoluto ed è dovuta, dal punto di vista microscopico, all'energia (cinetica e potenziale) legata allo stato di moto presente nella materia a livello molecolare, atomico o subatomico. Nell'approccio termodinamico, quella termica viene considerata la forma meno "nobile" di energia, poiché tutte le altre forme tendono a trasformarsi quasi interamente in questa, mentre non è altrettanto spontaneo il fenomeno inverso. Non è infatti possibile una gratuita trasformazione termodinamica il cui unico risultato sia quello di trasformare il calore in un'altra forma di energia, come sancito dal "secondo principio della termodinamica".

Un esempio di energia termica presente in natura è quella **geotermica**.

1.3. Le unità di misura nei sistemi energetici

Per la natura stessa dell'energia, l'energetica e l'insieme di tematiche ad essa inerenti spaziano in campi anche molto distanti dal contesto ingegneristico, assumendo, di volta in volta, valenze economiche, politiche e sociali. Proprio in questo spiccato carattere intersettoriale, nonché nella enorme escursione dei valori che si incontrano nella pratica, va ricercato il motivo per cui nella gestione dell'energia talvolta si eludono le convenzioni rigorose proprie del mondo scientifico.

Uno degli aspetti che certamente occorre considerare è quello delle unità di misura. Infatti, se, in generale, il mondo tecnico-scientifico si è adeguato all'utilizzo del *Sistema Internazionale delle unità di misura* (Tab.1.2) e di alcune unità da esso "derivate" (Tab.1.3), altrettanto non può dirsi per il comparto dell'energia.

L'unità che nel settore energetico assume maggiore importanza, accanto a quelle di uso più generale (J, cal, erg), è la *tonnellata equivalente di petrolio*³ (tep), utilizzata per quantificare i consumi di energia e basata sulla caratteristica del petrolio di avere un potere calorifico⁴ pressoché costante e pari a circa 10.000 kcal/kg. Il contenuto energetico convenzionalmente attribuito alla tep è allora di 107 kcal. Un'altra unità di misura spesso impiegata è la *tonnellata equivalente di carbone*⁵ (tec). Dopo una certa diffusione negli anni '70, a questa, però, è stata preferita la *tep*, per la maggiore diffusione commerciale del petrolio nell'attuale mercato dell'energia, ma anche per la limitazione pratica derivante dal fatto che il carbone non ha un potere calorifico costante, dipendendo quest'ultimo dal contenuto di carbonio, che è molto variabile in tale combustibile fossile.

Accanto a queste unità di misura, utilizzate per redigere i bilanci energetici, si deve aggiungere il *barile di petrolio* (158,98 l), sulla base del quale si indica il prezzo del greggio, ed il *barile equivalente di petrolio*⁶, misura energetica analoga a quelle appena descritte.

³ Che, nell'espressione anglosassone, diviene *ton of oil equivalent* (toe).

⁴ Si tratta del *potere calorifico effettivo* o *inferiore*: si ottiene detraendo dal calcolo del *potere calorifico superiore* il calore di condensazione dell'acqua che si forma nella combustione ed il calore latente dell'umidità contenuta nel combustibile. Si definisce *potere calorifico superiore* la quantità di calore, espressa in grandi calorie, che 1 kg di combustibile genera bruciando completamente a pressione costante, quando i prodotti della combustione siano portati a 0°C ed a 760 mmHg. Frequentemente, per i combustibili gassosi, invece che al kg, si fa riferimento al normal m3 (riferito, quindi, a 0°C ed a 760 mmHg).

⁵ Che, nell'espressione anglosassone, diviene *ton of coal equivalent* (tce).

⁶ Che, sempre nell'espressione anglosassone, diviene *barrel of oil equivalent* (boe).

Tabella 1.2. Sistema internazionale delle unità di misura

GRANDEZZA	UNITA' DI MISURA	
	Nome	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	Kg
Tempo	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	Ampere	A
Temperatura termodinamica	Kelvin	K
Quantità di massa	mole	mol
Intensità luminosa	candela	cd

Tabella 1.3. Principali unità di misura “derivate” dal SI

GRANDEZZA	UNITA' DI MISURA	
	Nome	Simbolo
Frequenza	Hertz	Hz
Forza	Newton	N
Pressione e tensione	Pascal	Pa
Energia, lavoro, quantità di calore	Joule	J
Potenza, flusso energetico	Watt	W
Quantità di elettricità, carica elettrica	Coulomb	C
Tensione elettrica, potenziale elettrico, forza elettromotrice	Volt	V
Resistenza elettrica	Ohm	W
Conduttanza elettrica	Siemens	S
Capacità elettrica	Farad	F
Flusso di induzione magnetica	Weber	Wb
Induzione magnetica	Tesla	T
Induttanza elettrica	Henry	H
Flusso luminoso	lumen	lm
Illuminamento	lux	lx
Attività	Becquerel	Bq
Dose assorbita	Gray	Gy
Equivalente di dose	Sievert	Sv

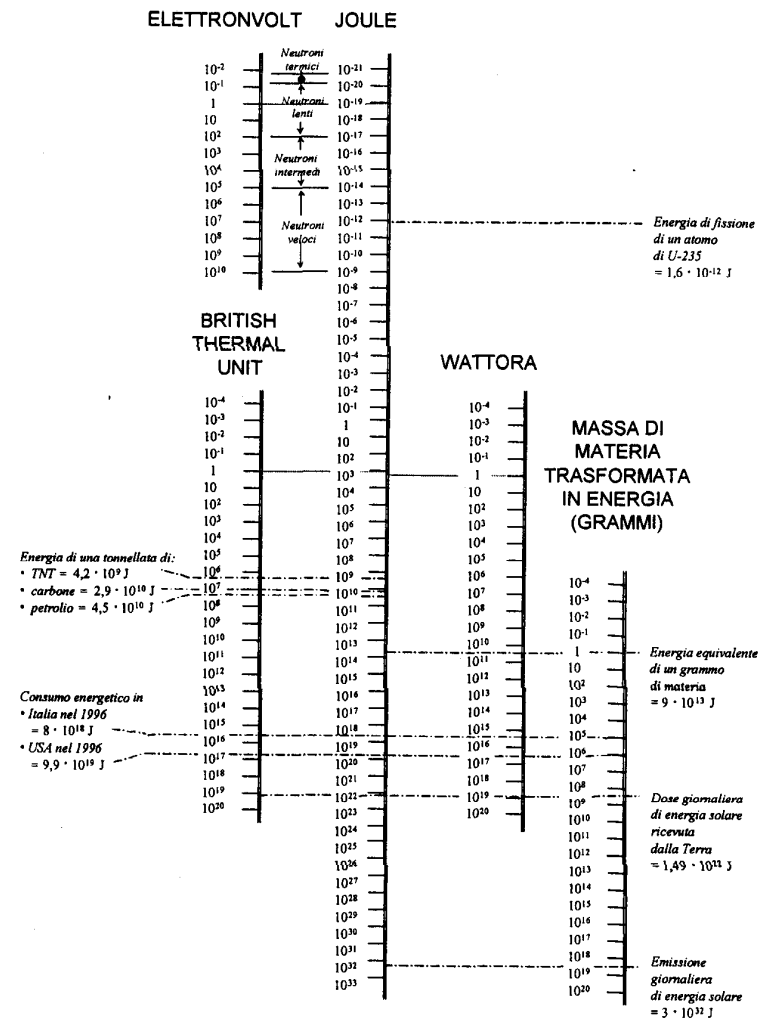


Fig. 1.3 - Scale di confronto di alcune grandezze energetiche (da [1])

Per chiudere il quadro delle principali grandezze energetiche, si ricordano il Wh (Wattora), unità di misura prettamente elettrica (corrispondente all'energia sviluppata da una macchina che eroghi 1 W di potenza per una ora) e la BTU (British Thermal Unit), utilizzata prevalentemente in campo termotecnico.

Il motivo dell'impiego di così numerose unità di misura è una diretta conseguenza della enorme diffusione e varietà delle applicazioni energetiche, caratterizzate da ordini di grandezza molto differenti; in Fig.1.3 si vede che per rappresentare, sulla scala dei Joule, l'entità di tutti i fenomeni energetici che riguardano il "sistema Terra", sono necessari addirittura 50 ordini di grandezza.

Infine, in Tab. 1.5 sono indicati i fattori di conversioni delle principali unità di misura utilizzati per la misura dei poteri calorifici.

Tabella 1.5 - Conversione delle unità di misura dei calori specifici

Da/a	J/kg	Kcal/kg	BTU/lb
J/kg	1	2.39×10^{-4}	4.29×10^{-4}
kcal/kg	4.19×10^3	1	1.82×10^{-3}
BTU/lb	2.33×10^3	5.5×10^2	1

⁷Una BTU corrisponde alla quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di una libbra d'acqua (1 lb $\square$ 4,44 kg) di 1 grado Fahrenheit (1° F $\square$ 0,55 °C).

1.4. Il bilancio energetico della Terra

L'analisi della disponibilità di energia in natura deve partire dal ciclo energetico globale del sistema nel quale l'uomo si trova ad operare, il "sistema Terra".

Le cifre ed i flussi di energia che compongono il bilancio energetico della Terra sono riportati nel diagramma di Sankey (Fig. 1.4), nel quale tali flussi sono rappresentati mediante bande la cui larghezza indica, in proporzione, il contributo totale portato da ogni singola voce.

Il bilancio energetico del nostro pianeta è basato, dunque, in modo preminente sul flusso di *energia proveniente dal Sole*, che rappresenta il 99,98% del totale. Il flusso energetico medio proveniente dal Sole è denominato *costante solare* e corrisponde al flusso di energia che passa attraverso una superficie di 1 m^2 , disposta perpendicolarmente al flusso stesso, nell'intervallo di 1 secondo, al di fuori dell'atmosfera (in assenza, cioè, di fenomeni di assorbimento atmosferico) ed alla distanza media della Terra dal Sole. Le misure effettuate tramite i satelliti hanno fornito per la costante solare un valore di $1,35 \text{ kW/m}^2$ con una variabilità del 3% dovuta all'ellitticità dell'orbita terrestre. L'ammontare della potenza totale intercettata dalla Terra sulla sua sezione è stata calcolata pari a circa $173.000 \cdot 10^{12} \text{ W}$.

Si devono, inoltre, considerare l'energia proveniente dall'*interazione gravitazionale* (praticamente ridotta alla triade Terra, Sole e Luna) nonché l'*energia termica* dovuta al *calore presente all'interno della Terra*, convogliata in superficie per conduzione e convezione. Un ulteriore contributo proviene dai *radioisotopi naturali* (elementi radioattivi), abbinati al fenomeno della *geotermia*, nel senso che, con il loro apporto energetico, contribuiscono a mantenere praticamente costanti, ovvero perpetuare, le oscillazioni periodiche della distribuzione di temperatura nei diversi strati e sulla superficie del pianeta.

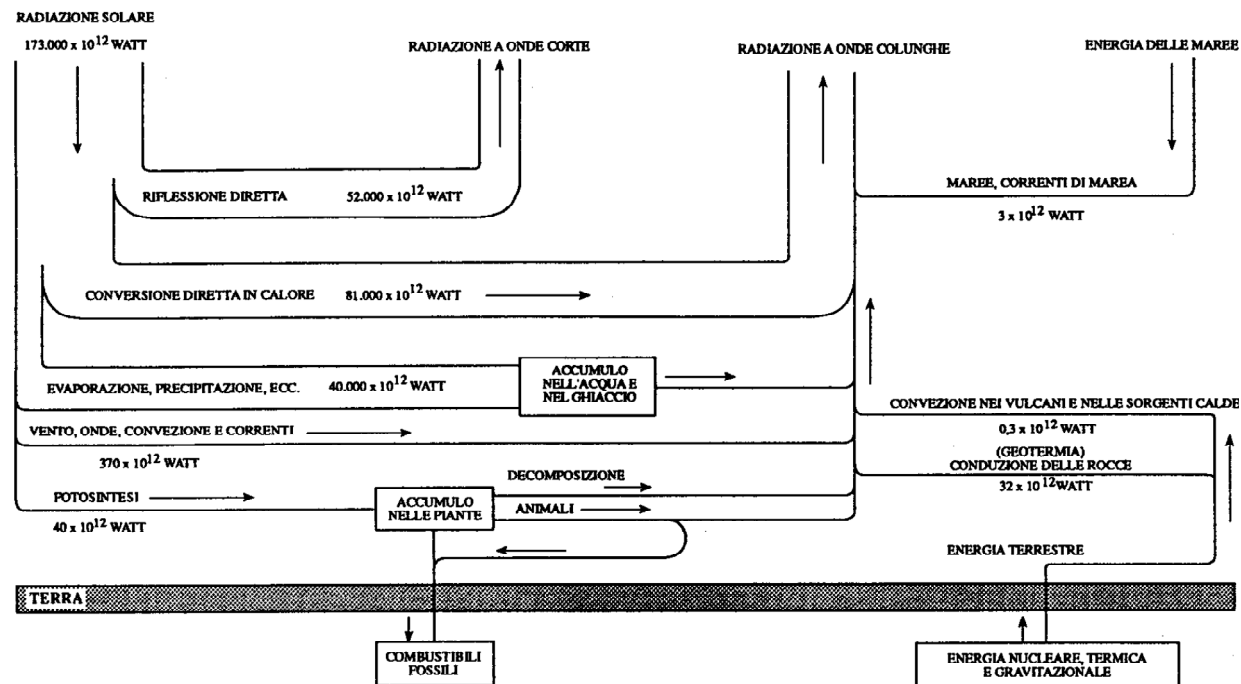


Fig. 1.4 - Bilancio energetico globale della Terra [1]

Nel diagramma di Sankey di Fig. 1.4 si vede come una frazione rilevante dell'energia solare incidente ($52.000 \cdot 10^{12}$ W) viene immediatamente restituita allo spazio esterno, mentre la rimanente parte procede verso la superficie terrestre attraversando l'atmosfera.

I flussi di energia a cui si fa riferimento si intendono nell'unità di tempo, quindi si parlerà più esattamente di "potenze". A questo proposito bisogna richiamare un aspetto critico della questione energetica: anche se, in termini istantanei, la potenza reperibile in natura è, come si vedrà meglio nel seguito, di vari ordini di grandezza superiore al fabbisogno dell'intera popolazione mondiale, è tecnicamente e/o economicamente impossibile soddisfare le richieste di energia, in ogni momento e per ogni utenza, con la sola potenza che, istante per istante, è resa direttamente disponibile in natura dal Sole o dalle altre fonti menzionate.

La copertura del fabbisogno delle diverse forme di energia è, dunque, problema *non di quantità* ma di *disponibilità nello spazio e nel tempo*. La questione da risolvere è cioè quella di rendere disponibile, per ciascuna utenza, la quantità adeguata di energia (e nella forma opportuna) istantaneamente necessaria all'utenza stessa.

Un'altra suggestiva rappresentazione reperibile in letteratura e sostanzialmente analoga alla precedente, è offerta dalla Fig. 1.5 nella quale i valori riportati sono pressoché gli stessi del diagramma precedente. Le uniche eccezioni si verificano per quanto riguarda la fotosintesi, stimata in $80 \cdot 10^{12}$ W invece di $40 \cdot 10^{12}$ W, e per la presenza della fonte idraulica, valutata in $10 \cdot 10^{12}$ W, precedentemente sintetizzata nella voce "accumulo nell'acqua e nel ghiaccio".

In questa figura è inoltre opportunamente visualizzato il *ciclo dell'acqua* che è alla base della vita sul pianeta e che, anche dal punto di vista energetico, ha proporzioni notevoli. Circa il 23% ($40.000 \cdot 10^{12}$ W) dell'energia solare incidente istantaneamente sulla Terra, infatti, è coinvolto in questo fenomeno, determinando l'evaporazione di una immensa quantità dell'acqua che ricopre il pianeta per circa i 3/4 della sua superficie. Il vapore acqueo formatosi, innalzandosi in virtù di gradienti termici e degli effetti di pressione, si raffredda oltre il punto di saturazione e condensa, poi, intorno a particelle di pulviscolo o a ioni, dando luogo alla formazione di nubi. Questi ammassi di minuscole goccioline di acqua e di cristalli di ghiaccio (del diametro variabile da 1 a 100 μm), in sospensione nell'aria, vengono trasportati dalle perturbazioni atmosferiche lontano dal luogo dove si sono formati. Quando le dimensioni delle goccioline raggiungono almeno 1 mm di diametro, in opportune condizioni di temperatura e di pressione, si ha la precipitazione atmosferica (pioggia, neve, grandine). Non tutta l'acqua ritorna sulla Terra alla stessa quota alla quale era evaporata, permettendo così l'accumulo in forma di energia potenziale meccanica, la cui potenza è stimata dell'ordine di $10 \cdot 10^{12}$ W.

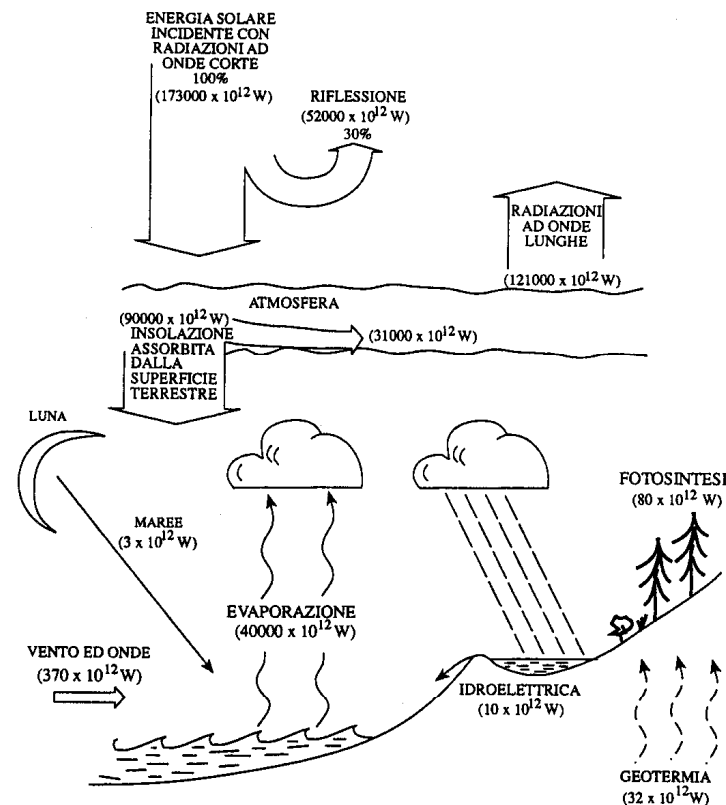


Fig. 1.5 - Bilancio energetico globale della Terra [2]

Altro processo correlato con la radiazione solare è la fotosintesi clorofilliana. Questo processo fissa il carbonio nelle foglie ed accumula l'energia sotto forma di carboidrati; esso, inoltre, libera ossigeno e, attraverso i processi di decomposizione, dissipa energia. Tuttavia, una certa quantità di materia organica viene depositata ed accumulata in torbiere o, comunque, in ambienti poveri di ossigeno, che non permettono il ritorno alle condizioni di equilibrio. L'accumulo di resti animali e vegetali al di sotto della crosta terrestre è all'origine del complesso fenomeno della formazione dei combustibili fossili, che possono così accumulare l'energia solare assorbita per milioni di anni dalla Terra.

1.4.1. La radiazione solare

È opportuno ribadire come l'energia di cui dispone il sistema Terra sia indissolubilmente legata all'irraggiamento del Sole, il cui flusso energetico è di almeno 5.000 volte superiore a quello di tutte le altre fonti concorrenti. Ovviamente, poi, anche l'energia geotermica (la seconda in termini quantitativi) si esaurirebbe immediatamente, se dovesse venire a mancare la radiazione solare.

Sebbene il contributo del Sole sia così rilevante e preponderante per l'equilibrio energetico della Terra e, in ultima analisi, per la sopravvivenza delle specie viventi del pianeta, gran parte dell'energia che da esso giunge sulla Terra viene dispersa e non è direttamente disponibile per le attività umane. Si stima, infatti, che circa il 30% della radiazione solare incidente venga riflessa direttamente e dispersa nello spazio esterno in forma di radiazione a piccola lunghezza d'onda (circa 52.000^{12} W, Fig 1.4). L'atmosfera, la superficie terrestre e gli oceani assorbono, poi, attorno al 47% del totale (circa 81.000^{12} W, Fig 1.4). Un altro 23% (circa 40.000^{12} W, Fig 1.4) viene impiegato nei processi di evaporazione, convezione, precipitazione e scorrimento che caratterizzano il ciclo idrologico (il cosiddetto "ciclo dell'acqua"). Una piccola frazione, pari allo 0,2% (circa $370 \cdot 10^{12}$ W, Fig 1.4), sostiene i venti, la circolazione oceanica ed il moto ondoso e viene, in parte, dissipata sotto forma di calore per attrito. Una quantità ancora inferiore, cioè circa $40 \cdot 10^{12}$ W viene "catturata" dalla clorofilla contenuta nelle foglie, più in generale nelle piante, e diviene la riserva energetica essenziale del processo fotosintetico. È questa la frazione di energia solare (0,02%), grazie alla quale, nelle varie ere geologiche, si sono formati, attraverso trasformazioni chimico fisiche di sostanze organiche (di origine vegetale ed animale) i giacimenti di combustibili fossili e di idrocarburi.

Se si considera che le attuali necessità energetiche si basano in modo preponderante sullo sfruttamento di tali risorse, si evince quale limitata percentuale dell'energia solare l'uomo oggi sia in grado di sfruttare in maniera conveniente.

1.4.2. L'interazione gravitazionale tra Terra, Sole e Luna

I sistemi gravitazionali Terra-Luna e Terra-Sole sono alla base del fenomeno delle maree. Le azioni dei due sistemi si combinano, però, in modo estremamente variabile.

I movimenti della Luna rispetto alla Terra avvengono, infatti, su un piano orbitale differente dal piano equatoriale terrestre e, d'altra parte, i periodi dei due corpi celesti sono diversi, come lo è distanza reciproca e rispetto al Sole, a causa dell'eccentricità delle orbite.

Dei due sistemi, quello Terra-Luna incide maggiormente sul fenomeno, a causa della ridotta distanza tra la Terra ed il suo satellite (distanza media 348.400 km), nonostante la massa di quest'ultimo sia 81,3 volte minore di quella della Terra e oltre 2.500.000 volte quella del Sole. Per quanto riguarda il sistema Terra-Sole, data la maggiore distanza tra i due astri (circa $149 \cdot 10^6$ km), si hanno forze di marea minori, sebbene non trascurabili, in virtù, questa volta, della enorme massa della stella (333.000 volte quella della Terra).

Gli altri corpi celesti, compresi quelli del sistema solare, invece, non hanno influenza apprezzabile sulle forze di marea. In complesso, dunque, la principale azione gravitazionale è quella che la Terra scambia con la Luna, mentre il Sole interviene solo a modificare l'ampiezza delle maree.

La forza generatrice delle maree è massima quando i tre corpi celesti si trovano allineati e l'attrazione lunare si somma a quella solare (sigizie), mentre è minima quando la Luna si trova al primo e all'ultimo quarto (quadrature), cioè quando la congiungente Terra-Luna è perpendicolare alla retta che unisce la Terra con il Sole. Il livello delle maree sigiziali e di quelle quadraturali ha uno scarto di circa il 20%, rispettivamente in più e in meno, dei livelli medi.

L'energia istantaneamente dovuta alle maree è valutata dell'ordine di $3 \cdot 10^{12}$ W (Fig. 1.4 e 1.5).

1.4.3. La geotermia e gli elementi radioattivi

Il flusso di calore proveniente dall'interno della Terra è stato valutato attraverso misure del gradiente geotermico e della conduttività termica delle rocce. Procedendo verticalmente verso l'interno si ha, per i primi chilometri, un aumento medio della temperatura di 3°C ogni 100 m; tale incremento non è però costante, poiché la temperatura massima del nucleo della Terra è di 4.500°C.

Tramite tali misure si è determinato un valore medio del flusso energetico di 0,063 W/m² e, avendo la superficie terrestre un'estensione di circa $510 \cdot 10^{12}$ m², si ottiene una potenza complessiva attorno a $32 \cdot 10^{12}$ W. Le sorgenti termali ed i vulcani, però, conducono all'esterno solo l'1% del calore totale, per cui la potenza realmente disponibile è solo di circa $0,3 \cdot 10^{12}$ W (Fig. 1.4 e 1.5).

Il calore migra dal nucleo caldo del pianeta verso la crosta terrestre mediante due processi: la *conduzione*, che contribuisce solo in piccola parte, poiché le rocce sono cattive conduttrici di calore, e la *convezione*, che, al contrario, diffonde rapidamente le quantità di calore nei materiali allo stato fluido.

Benché abbia luogo una propagazione di calore in direzione della superficie della Terra e di qui verso lo spazio esterno, la temperatura all'interno del nucleo esterno rimane pressoché costante, perché mantenuta tale dall'apporto calorico delle radiazioni e delle particelle emanate dai radioisotopi, presenti al disotto della crosta terrestre.

L'energia geotermica deriva, dunque, dal decadimento⁸ delle specie radioattive all'interno della Terra e, date le quantità in gioco, rappresenta, pertanto, una fonte di energia praticamente inesauribile.

⁸Processo secondo il quale i nuclei radioattivi tendono a trasformarsi, con uno o più passaggi successivi, in nuclei stabili non radioattivi attraverso l'emissione di particelle subatomiche α e β e di radiazioni elettromagnetiche γ .

1.5. Schema generale di riferimento delle fonti energetiche e degli usi finali

Dopo aver considerato in quali forme l'energia è reperibile in natura e quali sono le fonti che assicurano il sostentamento energetico globale del sistema Terra, si impone una classificazione “operativa” del ciclo di utilizzazione dell'energia, in virtù del quale la quota necessaria al fabbisogno della società civile viene resa disponibile alle utenze. Per far ciò, occorre riprendere in esame lo schema generale di riferimento di Fig. 1.1, che costituisce la base di partenza per le più dettagliate classificazioni che seguiranno.

In effetti, se, da un punto di vista globale, il Sole costituisce la fonte energetica largamente più ingente per il sistema Terra⁹, si osserva una certa diversificazione dei modi in cui questa energia viene immagazzinata e resa disponibile sul pianeta. Attraverso questi accumuli si creano nuove fonti di energia, le quali, insieme a quelle già viste nel bilancio globale, vengono definite *fonti energetiche primarie*. Da queste, in forma diretta o indiretta, proviene l'energia che viene fornita istante per istante (potenza utile) alle utenze per i cosiddetti *usi finali*.

Come detto, però, generalmente le forme primarie di energia non sono utilizzabili sic et simpliciter per gli usi finali, ma devono essere modificate ed adattate alla domanda. Vanno poi risolti problemi di trasporto, di economicità dello sfruttamento e si deve rispondere alle esigenze tecnologiche, a quelle ecologiche, al tipo, alla natura ed alla quantità dell'energia da rendere istantaneamente disponibile all'utenza.

Il complesso delle fonti che è stato sottoposto ai processi di modificazioni rispetto alle condizioni naturali costituisce l'insieme delle *fonti energetiche secondarie*.

Un particolare aspetto del ciclo di utilizzazione dell'energia, è quello riguardante la produzione dell'*energia elettrica*. E' questa oggi la forma cruciale nel panorama energetico, al punto che spesso i problemi inerenti all'intero contesto dell'energia vengono, erroneamente, identificati con i problemi dell'energia elettrica ed a questi ricondotti.

⁹Si è visto che l'energia solare rappresenta circa il 99,98% del bilancio energetico globale del sistema Terra, le principali altre essendo quella geotermica e quella gravitazionale.

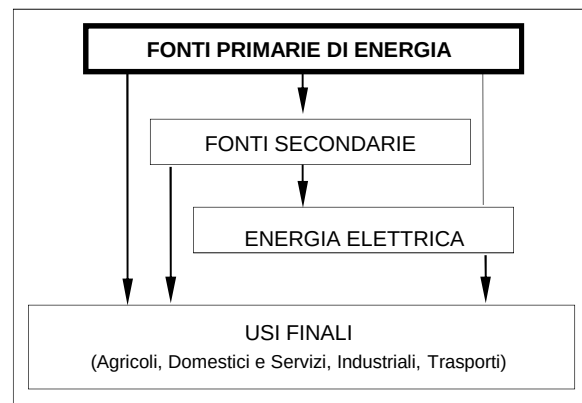
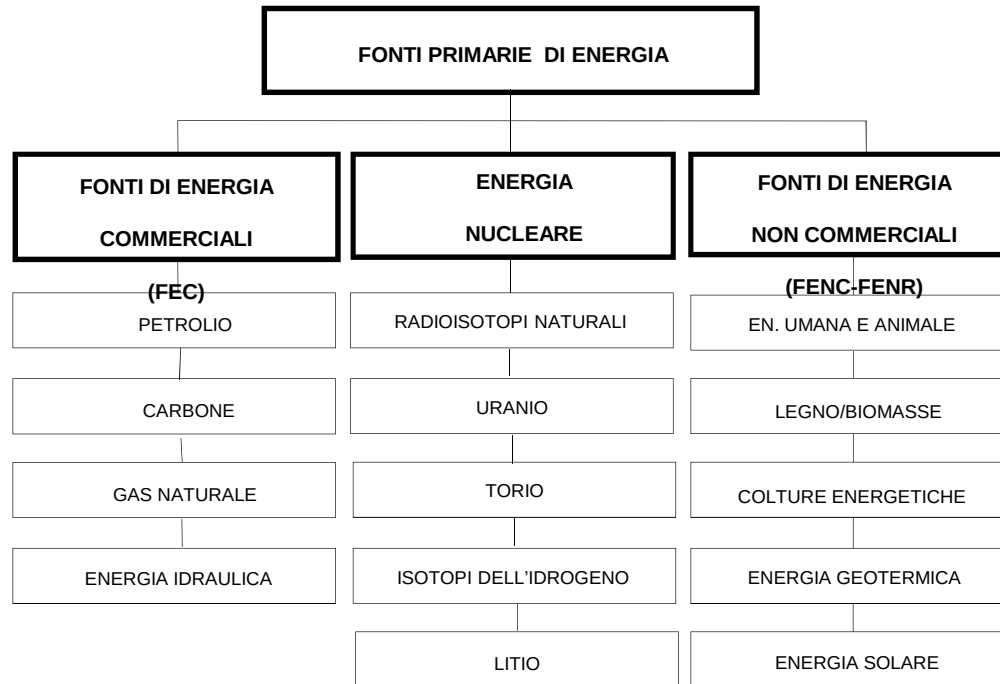
1.5.1. Le fonti energetiche primarie

Nel corso della storia dell'energetica sono state proposte diverse suddivisioni delle fonti primarie, che hanno avuto fortune alterne. Per evidenziare i risultati ai quali l'evoluzione tecnica e commerciale ha portato oggi il "mercato" dell'energia e per sottolineare l'incidenza delle utilizzazioni delle diverse forme di energia, appare opportuno suddividere le varie fonti energetiche primarie in *commerciali*, *nucleari* e *non commerciali* (Fig. 1.6).

Si definiscono **fonti energetiche commerciali (FEC)**, quelle che godono del più largo utilizzo ed hanno un assetto ben consolidato nel mercato energetico. Si tratta, dunque, di fonti che si possono definire *convenzionali*.

L'**energia nucleare** viene considerata a sè stante, perché, pur essendo largamente consolidato il suo ruolo nel mercato dell'energia ed avendo importanti possibilità di impiego, presenta problematiche che necessitano una trattazione differenziata. Il suo impiego quale fonte primaria, inoltre, previo passaggio attraverso opportuna forma di energia secondaria (vedi § 1.2.5), è praticamente destinato alla sola produzione di energia elettrica (impianti elettronucleari) e alla propulsione, specie quella navale, di superficie e sottomarina. Ci sono, infine, le **fonti energetiche non commerciali (FENC)**, o *non convenzionali*, perché, pur se il loro sviluppo tecnologico è in continua crescita, esse sono ancora praticamente escluse dal mercato mondiale dell'energia. Esse sono dette anche *fonti nuove e rinnovabili (FENR)*¹⁰: *nuove*, perché vanno tenute in conto, sperimentate e valorizzate in una moderna concezione dell'energetica; *rinnovabili*, perché hanno tempi di ripristino che ne assicurano una disponibilità praticamente illimitata nel tempo, mentre il ciclo di fossilizzazione, necessario alla formazione dei combustibili fossili, avendo durate dell'ordine dei milioni di anni, fa ritenere queste fonti primarie di energia "esauribili" o non rinnovabili sul piano pratico. Le fonti nuove e rinnovabili sono spesso indicate, in contrapposizione alle prime, come *non convenzionali*. Non è invece oggi accettabile la definizione di tali fonti che, in auge negli anni '70, le designava (immediatamente) "*alternative*" a quelle convenzionali. Per i prossimi decenni, esse, semmai, sono in grado di "integrare", non di sostituire radicalmente le forme commerciali di energia primaria nel bilancio energetico delle attività umane. Le fonti non commerciali si rendono disponibili in natura con una maggiore varietà di forme energetiche rispetto alle fonti commerciali. Si ha diretta disponibilità di energia termica dal fluido endogeno terrestre, dal gradiente termico marino. Il legno, le biomasse, gli scisti bituminosi e le sabbie petrolifere forniscono energia di tipo chimico potenziale. Le restanti fonti riguardano principalmente energia meccanica.

¹⁰È importante notare che anche l'energia idraulica è una fonte rinnovabile, tuttavia essa viene tradizionalmente ascritta tra le fonti commerciali, in quanto è stata una delle prime fonti ad essere sfruttata per la produzione di energia elettrica.



Legenda: FEC: Fonti Energetiche Commerciali
 FENC: Fonti Energetiche Non Commerciali
 FENR: Fonti Energetiche Nuove e Rinnovabili
 OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion
 (Conversione dell'Energia Termica Oceanica)

Fig. 1.6 - Classificazione delle fonti primarie di energia

Una ulteriore classificazione di alcune fonti energetiche primarie, che per certi versi rappresenta una variante della precedente, è quella esposta in Tab. 1.6, che pone in risalto la rinnovabilità di tali fonti e la loro collocazione nel bilancio energetico del Sistema Terra.

Tabella 1.6 - Classificazione delle fonti energetiche primarie secondo il criterio della rinnovabilità.

FLUSSI ENERGETICI DEL SISTEMA TERRA	FONTI ENERGETICHE NON RINNOVABILI	FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI
<i>Radiazione Solare</i>	Petrolio Carbone Gas Naturale Scisti Bituminosi Sabbie Petrolifere	Energia Umana ed Animale Legno/Biomasse Colture Energetiche Energia Solare Energia Eolica Onde Marine Energia Idraulica
<i>Energia Gravitazionale</i>		Maree
<i>Energia Interna alla Terra</i>	Radioisotopi Naturali Uranio Isotopi dell'Idrogeno Energia Geotermica	

1.5.2. Le fonti energetiche secondarie

Una classificazione analoga a quella delle fonti primarie si rende necessaria anche per le fonti energetiche secondarie (Fig. 1.7). La circostanza di ritrovare in questo schema la quasi totalità delle fonti primarie rende conto del fatto che queste ultime, convenzionali e non, hanno quasi sempre comunque bisogno di essere elaborate, raffinate, adattate, prima di poter essere utilizzate.

Tra le forme di energia naturale, quelle che necessitano più evidentemente e radicalmente del passaggio da primaria a secondaria sono quelle *chimica* e *nucleare*, essendo entrambe strettamente correlate al progressivo affinamento della tecnologia di conversione e di adattamento che vede la produzione dei combustibili, convenzionali (carbone e derivati del petrolio, quali le benzine, le nafta, i gasoli, il cherosene, etc.) e nucleari.

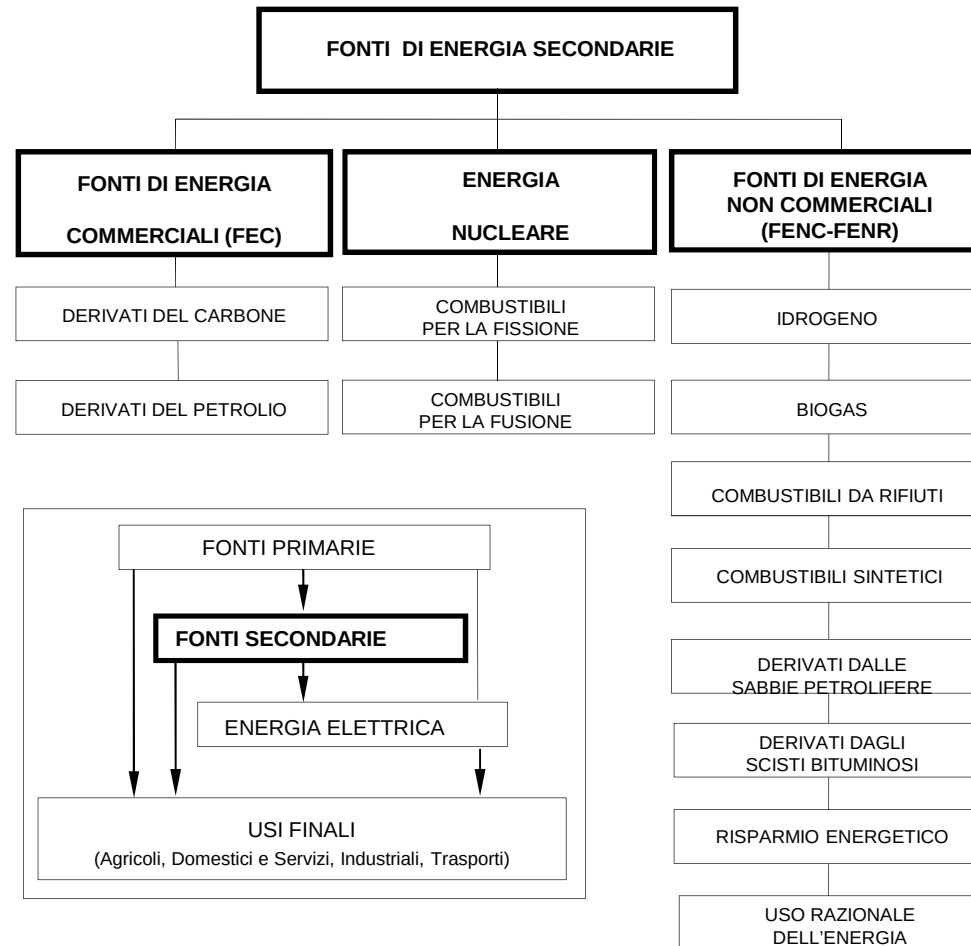
È opportuno precisare che le fonti secondarie rivestono un ruolo pratico determinante ai fini della produzione di energia per gli usi finali, perché ad esse si fa largamente riferimento nei processi di conversione.

1.5.3. L'energia elettrica

Per quanto concerne l'energia elettrica, come si è detto, essa viene considerata in posizione preminente rispetto alle altre forme energetiche relative agli usi finali. La sua centralità nel contesto energetico globale deriva dalla fondamentale importanza di questo comparto nello sviluppo attuale dell'intera realtà energetica. Si è giunti, così, come si diceva, ad una correlazione tra le questioni elettriche e le problematiche energetiche generali che porta talvolta, erroneamente, a ritenerle coincidenti. Diversi motivi inoltre “privilegiano” questa forma di energia rispetto alle altre e si concretizzano in una serie di vantaggi di cui sarà fatta ampia trattazione in seguito. Pur essendo già presente in natura, è nella “produzione” realizzata dall'uomo che l'energia elettrica mostra tutta la sua utilità. Essa oggi pervade ogni ambito della vita moderna e mette a disposizione di qualsiasi utente una potenza pulita, economica e versatile, in grado di essere convertita, con alta efficienza, in lavoro meccanico e/o energia termica in innumerevoli modi. Proprio questa attitudine ad una distribuzione capillare, ma generalmente simultanea alla produzione (a causa dell'antieconomicità dell'accumulo energetico in grandi quantità), rende il sistema elettrico complesso per configurazione e per gestione. La *penetrazione elettrica*¹¹ negli usi finali è utilizzata quale indicatore del progresso tecnologico di una nazione. Nella Tab. 1.7 è riportato l'andamento della penetrazione elettrica mondiale e per alcune aree geoeconomiche. L'incremento costante di questa quota nei paesi industrializzati e in quelli di nuova industrializzazione è indice di sviluppo economico, mentre altrettanto non si può dire nei paesi dell'Est europeo, dove gli alti valori sono determinati da un sistema energetico di conversione obsoleto ed a bassa efficienza. A tale differente sviluppo concorrono anche le caratteristiche profondamente variabili della rete di distribuzione all'utenza [3].

¹¹Come sarà meglio descritto in seguito, la “penetrazione elettrica” indica, su 100 unità di energia primaria consumate, quante ne sono state rese disponibili direttamente sotto forma elettrica o destinate alla trasformazione in energia elettrica nelle centrali termoelettriche.

Fig. 1.7 - Classificazione delle fonti secondarie di energia



Legenda:

FEC:	Fonti Energetiche Commerciali
FENC:	Fonti Energetiche Non Commerciali
FENR:	Fonti Energetiche Nuove e Rinnovabili

È opportuno precisare che le fonti secondarie rivestono un ruolo pratico determinante ai fini della produzione di energia per gli usi finali, perché ad esse si fa largamente riferimento nei processi di conversione.

Tab. 1.7 - Penetrazione elettrica nel mondo in alcune aree geoeconomiche % [3]

	1973	1994
MONDO	27,6	37,6
EST EUROPA	32,7	44,7
OCSE	27,5	38,6
RESTO DEL MONDO	21,0	32,3
UE	26,3	37,6

1.5.4. Gli usi finali

Gli usi finali dell'energia, dal canto loro, sono raggruppati, per convenzione, in quattro grandi categorie, ovvero nei *consumi industriali, agricoli, civili e residenziali e trasportistici* (Fig. 1.1). È questa la suddivisione adottata nella stesura dei bilanci energetici. Essa ha comportato l'adozione di convenzioni rigorose, per consentire un uso universale dei bilanci energetici. Ad evitare confusioni o sovrapposizioni, è, infatti, necessario chiarire ed adottare in forma univoca a chi ascrivere alcuni tipi di consumi energetici, che possono, a rigore, avere più di una collocazione nello schema di Fig. 1.1. In generale, come è ovvio, i consumi energetici, relativi a processi produttivi, che si registrano negli stabilimenti industriali si ascrivono ai *consumi industriali*, mentre i consumi dovuti al riscaldamento o al condizionamento di abitazioni civili o degli uffici si attribuiscono, invece, ai *consumi civili e residenziali*. Così, l'energia spesa negli aerei, nei treni, nelle navi, negli autobus, nei tram, e così via, per originare il moto di questi sistemi di trasporto, verrà computata nei *consumi dei trasporti*. Questa distinzione non è comunque agevole e rigorosa in altri casi. Ad esempio, si sono dovute definire, per convenzione, le attribuzioni in casi ambigui: a quale categoria attribuire i consumi energetici, talvolta ingenti, relativi ai trasporti di merci e persone all'interno dei grandi stabilimenti industriali? Ai "trasporti" o ai "consumi industriali"? E ancora, come valutare i consumi energetici legati al condizionamento o al riscaldamento degli ambienti nei capannoni e negli uffici degli stabilimenti industriali? Vanno interpretati come consumi industriali o civili/residenziali? Ciascuno di questi dubbi è stato risolto, nell'ambito delle tecniche di messa a punto per la redazione di bilanci energetici, attraverso convenzioni che hanno definito univocamente l'attribuzione. Di regola, ciò che avviene all'interno dei grandi stabilimenti industriali va ascritto ai *consumi industriali*; e così, rispettivamente, per gli altri comparti, a prescindere dalla finalità specifica dell'uso energetico finale.

Gestione dei rifiuti e tecniche di smaltimento

Pianificazione e gestione dei rifiuti

La pianificazione della gestione dei rifiuti è solitamente affidata alle singole regioni, che a partire dalle normative nazionali, sviluppano un piano più inerente alle singole caratteristiche territoriali. Tutti i piano hanno dei punti base in comune che permettono di raggiungere analoghi obiettivi. In dettaglio i punti salienti di una pianificazione della gestione dei rifiuti possono essere riassunti come segue:

1. *analisi dell'andamento tendenziale della produzione dei rifiuti*, in modo da avere una conoscenza quantitativa e qualitativa dei rifiuti prodotti, punto fondamentale per una adeguata gestione dei rifiuti;
2. *valutazione delle possibili azioni di razionalizzazione della gestione integrata dei rifiuti*: valutazione che consiste nell'illustrazione o nella scelta delle diverse tecniche di gestione dei rifiuti, prendendo come riferimento sia le tecnologie presenti sul mercato nazionale ed internazionale, ma anche in relazione al nuovo tipo di organizzazione dei flussi, attraverso i consorzi di filiera, consentendo di impostare la gestione dei rifiuti in funzione di obiettivi diversi ed articolati rispetto all'obiettivo di soddisfacimento della capacità di smaltimento, che ha rappresentato in passato l'unico argomento di dibattito per fronteggiare il sempre più cospicuo problema di produzione;
3. *localizzazione degli impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti urbani*: sono dettate le regole per la scelta dei siti dove possono essere realizzati gli insediamenti che nel complesso costituiscono il sistema di "smaltimento" a servizio della comunità.
4. *individuazione delle iniziative dirette a limitare la produzione dei rifiuti, a favorire il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero*: concordemente alla nuova gestione del rifiuto introdotta con DLgs. 22/97, che considera il recupero del rifiuto come punto fondamentale di una corretta gestione;
5. *definizione degli specifici obiettivi quali-quantitativi per la raccolta differenziata*: si devono fissare gli obiettivi che devono essere raggiunti mediante il coinvolgimento delle amministrazioni locali e delle imprese che effettuano la raccolta;
6. *definizione degli indirizzi e delle condizioni generali per assicurare la gestione dei rifiuti urbani in ambiti territoriali ottimali*: è necessario che ogni provincia, ogni comune recepisca i piani regionali impostando un piano inerente allo specifico territorio.

Lo sviluppo di questi punti consente una gestione completa e razionale dei rifiuti, che deve puntare ad una diminuzione dei rifiuti da smaltire in discarica, e ad un aumento della quantità di rifiuti da inviare a recupero e riciclaggio, con un adeguato piano per la raccolta differenziata. Rimanendo in ambito regionale, ogni zona ha caratteristiche proprie per quanto riguarda, ad esempio, la produzione di rifiuti, la quantità e la qualità degli stessi, infatti, può variare a seconda della presenza di grandi, medie, piccole città, o in base al grado di sviluppo industriale, commerciale è quindi necessario che ciascuna provincia e ciascun comune, sviluppi un proprio piano di gestione di rifiuti, che deve comunque rientrare nel piano regionale, nel caso delle province, e nel piano provinciale, nel caso dei comuni.

Punto in comune, per tutte le regioni, nella gestione dei rifiuti è il modello adottato per la gestione dei rifiuti di imballaggio affidata al CONAI. I singoli comuni sono responsabili solo dell'organizzazione della raccolta differenziata sul territorio.

CONAI, Consorzio Nazionale Imballaggi, è il consorzio privato senza fini di lucro costituito dai produttori e utilizzatori di imballaggi con la finalità di perseguire gli obiettivi di recupero e riciclo dei materiali di imballaggio previsti dalla legislazione europea e recepiti in Italia attraverso il Decreto Ronchi. CONAI è l'organismo che il Decreto ha delegato per garantire il passaggio da un sistema di gestione basato sulla discarica a un sistema integrato di gestione basato sul recupero e sul riciclo dei rifiuti di imballaggio è quindi il perno di uno dei sistemi europei più efficaci ed efficienti di recupero e valorizzazione dei materiali di imballaggio basato sul principio della responsabilità condivisa del mondo delle imprese nei confronti dell'ambiente e su un livello di contributi ambientali che è fra i più bassi d'Europa. Alle imprese viene chiesto non solo di preoccuparsi dell'impatto ambientale del processo produttivo, ma anche di esercitare una responsabilità sul prodotto, sia nell'uso che ne viene fatto, sia nello smaltimento a fine ciclo. In un quadro di responsabilità condivisa in cui si chiedono a tutti i soggetti coinvolti - imprese, Pubblica Amministrazione, cittadini - nuovi comportamenti che permettano di far fronte a nuove responsabilità, i Ministeri dell'Ambiente e delle Attività Produttive hanno definito obiettivi e vincoli lasciando alle imprese la libertà di decidere come raggiungerli.

Il sistema CONAI si basa sull'attività di sei consorzi rappresentativi:

•**CONSORZIO NAZIONALE ACCIAIO**

•**CIAL:** consorzio imballaggi alluminio

•**COMIECO:** consorzio nazionale recupero e riciclo degli imballaggi a base cellulosica

•**RILEGNO:** consorzio nazionale per il recupero e il riciclaggio degli imballaggi ligno-cellulosici;

•**COREPLA:** consorzio per la raccolta, il riciclaggio e il recupero dei rifiuti di imballaggi di plastica;

•**COREVE:** consorzio recupero vetro.

CONAI indirizza, coordina le attività dei sei consorzi incaricati del recupero e del riciclo, garantendo il necessario raccordo tra questi e la pubblica Amministrazione.

Il compito di ciascun consorzio è quello di coordinare, organizzare, incrementare:

1. ritiro dei rifiuti di imballaggio conferiti al servizio pubblico;
2. raccolta dei rifiuti di imballaggio delle imprese industriali e commerciali;
3. il riciclo e il recupero dei rifiuti di imballaggio;
4. la promozione della ricerca e dell'innovazione tecnologica finalizzata al recupero e al riciclaggio.

I consorzi stipulano convenzioni a livello locale, con i comuni e le società di gestione dei servizi di raccolta differenziata, per il ritiro e la valorizzazione degli imballaggi usati conferiti dai cittadini.

Trattamento dei rifiuti solidi con produzione energetica

I rifiuti solidi sono da considerare, se opportunamente gestiti, una vera e propria ricchezza. Se differenziati durante la raccolta possono essere utilizzati come materia prima secondaria per molte produzioni industriali; oppure, mescolati ai reflui civili, possono formare un buon compost, che è un ammendante agricolo; infine, sulla base di varie tecniche di trasformazione, diventano una fonte energetica. Tale fonte si differenzia da quelle convenzionali perché non richiede estrazioni dal suolo, né deviazioni di fumi, né depauperamento del territorio, ma anzi ne promuove il recupero. Questa nuova gestione del rifiuto è stata introdotta con il Dlgs. 22/97 e precisamente nell'articolo 5.

Le tecnologie utilizzate per rendere disponibile l'energia contenuta nei rifiuti, possono essere riassunte nei seguenti punti:

- incenerimento
- produzione di RDF (Refuse Derived Fuel)
- gassificazione
- discarica controllata con produzione di biogas.

Discarica controllata con produzione di biogas



La discarica rappresenta un elemento ineliminabile della gestione dei rifiuti, se non altro come recettore finale delle ceneri derivanti dal trattamento termico. La discarica moderna, regolata dalla nuova normativa del 2003 (Dlgs.36/2003), ha costi immediati superiori rispetto a quelli delle discariche antecedenti al decreto, perché la realizzazione e la gestione dovranno adottare elevati standard di sicurezza; ma riduce al minimo l'impatto per l'ambiente, rispetta i diritti dei cittadini che vivono nelle vicinanze, non consente la contaminazione della falda idrica; evita soprattutto di far pesare sulle generazioni future i finti risparmi derivanti da realizzazioni inappropriate.

Tra i decreti attuativi del D.Lgs. 22/97 e della normativa comunitaria, forse il più significativo per l'impulso che ha dato al nuovo sistema di gestione dei rifiuti impostato sul riciclaggio e recupero energetico, è il decreto legislativo di recepimento della direttiva 1999/31/CE in materia di discariche, ossia il già citato Dlgs. 36/2003. Infatti, tale decreto, rendendo più oneroso lo smaltimento in discarica, favorirà di fatto il ricorso a tecnologie di trattamento concorrenti. In coerenza con i principi e le disposizioni del D.Lgs. 22/97 e della direttiva discariche 99/31/CE, l'obiettivo principale del decreto è quello di assicurare norme adeguate in materia di smaltimento dei rifiuti introducendo misure, procedure, requisiti tecnici per gli impianti di discarica e modalità di gestione finalizzati a ridurre effetti negativi sull'ambiente e sulla salute umana. In particolare, il decreto, elaborato con il supporto dell'ANPA, stabilisce, in conformità a quanto disposto dall'allegato I alla direttiva 99/31/CE, i requisiti generali per le tre diverse categorie di discarica: *inerti*, *non pericolosi* e *pericolosi*, relativi ai criteri per l'ubicazione, alle modalità di protezione delle acque e del terreno, alla dotazione di attrezzature e personale, alle modalità e ai criteri di coltivazione, alle misure di mitigazione di disturbi e rischi connessi alla gestione dell'impianto (Tab.1)

Tabella 1. tipologie di discarica

Tipologia di discarica	Tipologia di rifiuti
Discarica per rifiuti inerti	Rifiuti inerti: rifiuti solidi che non subiscono alcuna trasformazione fisica chimica biologica significativa; la tendenza a dar luogo a percolati e la relativa tossicità devono essere trascurabili.
Discarica per rifiuti non pericolosi	Rifiuti urbani, rifiuti non pericolosi di qualsiasi altra origine che soddisfino i criteri di ammissione dei rifiuti previsti dalla normativa vigente (CER), rifiuti pericolosi stabili non reattivi che soddisfano i criteri di ammissione previsti dal decreto 36/2003 art.7 comma 5.
Discarica per rifiuti pericolosi	Rifiuti pericolosi che soddisfano i criteri fissati dalla normativa vigente.

Nelle discariche di rifiuti non pericolosi e pericolosi, la protezione del suolo, delle acque sotterranee e delle acque superficiali viene assicurata, durante la fase operativa, dalla combinazione della barriera geologica e del rivestimento impermeabile del fondo e delle sponde della discarica e, a chiusura dell'impianto, dalla copertura superficiale che controlla la penetrazione delle acque meteoriche (Fig.1.). Sempre in linea con la direttiva, viene sottolineato il ruolo fondamentale svolto dalla barriera geologica, l'unica in grado di garantire nel lungo termine l'isolamento dei rifiuti ed un tasso di cessione di sostanze pericolose compatibile con la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente. Le caratteristiche della barriera riguardo ai requisiti di permeabilità (k) e spessore (s) sono differenti a seconda della categoria di discarica e ricalcano completamente quanto disposto dalla stessa direttiva (discarica per rifiuti inerti: $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s e $s \geq 1$ m; discarica per rifiuti non pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e $s \geq 1$ m; discarica per rifiuti pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e $s \geq 5$ m). Per tutti gli impianti che accettano rifiuti non pericolosi e pericolosi il decreto, come evidenziato, prevede l'obbligatorietà dell'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti con un rivestimento di materiale artificiale posto al di sopra della barriera geologica, su uno strato di materiale minerale compattato. Tale rivestimento dovrà avere caratteristiche idonee a resistere alle sollecitazioni chimiche e meccaniche presenti nella discarica.

Figura 1. Rivestimento impermeabile del fondo e delle sponde della discarica



Viene anche disposto che, qualora la barriera geologica non soddisfi naturalmente le condizioni fissate dal decreto, quest'ultima possa essere completata artificialmente attraverso un *sistema barriera di confinamento* opportunamente realizzato, costituito dall'accoppiamento di materiale minerale compattato con una geomembrana, ed in grado di fornire una protezione equivalente.

Il decreto detta, inoltre, specifiche prescrizioni riguardo alla gestione del percolato e del biogas nelle discariche che accolgono rifiuti non pericolosi e pericolosi. Il percolato e le acque di discarica dovranno essere captati, raccolti e smaltiti per tutto il tempo di vita della discarica, fissato dall'Ente territoriale competente nell'atto autorizzativo, e comunque per un tempo non inferiore a 30 anni. Ampio spazio nel decreto è riservato alle modalità di gestione e alle procedure di sorveglianza e controllo che il gestore dovrà adottare nella fase di operativa, post operativa e di ripristino ambientale. Già al momento della richiesta di autorizzazione per la costruzione e l'esercizio dell'impianto, dovranno essere presentati un piano di gestione operativa e uno di gestione post-operativa redatti secondo specifici criteri e nei quali dovranno essere individuate le misure tecniche per la gestione della discarica ed i programmi di sorveglianza e controllo messi in atto. Le procedure di controllo, in linea con quanto stabilito dall'allegato III alla direttiva, dovranno, in particolare, accertare:

- la conformità dello smaltimento dei rifiuti ai criteri stabiliti per la specifica categoria di discarica;
- il pieno funzionamento dei sistemi di protezione ambientale;
- il rispetto delle condizioni di autorizzazione della discarica;
- il corretto sviluppo dei processi di stabilizzazione all'interno della discarica.

Il decreto individua, inoltre, puntualmente i parametri e la periodicità dei controlli che dovranno riguardare le acque sotterranee, il percolato, le acque di drenaggio superficiale, i gas di discarica, la qualità dell'aria, i parametri meteorologici, lo stato del corpo della discarica. In conformità con la direttiva europea e, soprattutto, con il principio secondo il quale i rifiuti nella discarica dovrebbero costituire la prima barriera di un sistema di difesa in profondità, viene prescritto che i rifiuti ammessi in discarica siano sottoposti ad un preventivo trattamento. Riguardo ai rifiuti urbani ed in particolare alla frazione biodegradabile degli stessi, il decreto legislativo fissa, in linea con l'articolo 5 della direttiva europea, specifici obiettivi di progressiva riduzione del conferimento in discarica da raggiungersi a livello degli ambiti territoriali ottimali, o qualora questi ultimi non siano costituiti, a livello provinciale. Gli obiettivi quantificati dovranno essere raggiunti rispettivamente entro cinque, otto, e quindici anni dalla data di entrata in vigore del decreto. Per il raggiungimento di tali obiettivi ciascuna regione dovrà elaborare ed approvare un apposito programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica ad integrazione del Piano regionale di gestione dei rifiuti. Il programma dovrà prevedere, in particolare, il riciclaggio, il trattamento aerobico e/o anaerobico, il recupero di materiali o energia e il trattamento dei rifiuti medesimi. Dette disposizioni dovrebbero garantire una reale diminuzione dei rifiuti organici smaltiti in discarica. Va sottolineato che, seppure in linea con la direttiva, la fissazione di obiettivi quantificati di rifiuti biodegradabili ammessi in discarica, desta qualche perplessità sulle modalità di misurazione del conseguimento dei target.

La normativa in vigore in diversi Paesi dell'Unione e la stessa proposta di direttiva sul trattamento dei rifiuti biodegradabili individuano parametri di più agevole determinazione e monitoraggio atti a caratterizzare l'idoneità di un rifiuto urbano ad essere smaltito in discarica.

La proposta europea sui rifiuti biodegradabili, in particolare, prevede che il rifiuto residuo possa essere allocato in discarica solo se, dopo preventivo trattamento meccanico/biologico, presenti un certo grado di stabilità biologica misurata attraverso metodi respirometrici quali l'attività respiratoria dopo 4 giorni (AT4) o l'indice di respirazione dinamico. Nel caso in cui il pretrattamento consista in un trattamento termico, il rifiuto urbano potrà essere smaltito in discarica solo se il contenuto di carbonio organico totale non sia superiore al 5% in peso. Entrambi i pretrattamenti meccanico/biologico e termico consentono al rifiuto residuo di non essere considerato biodegradabile ai sensi dell'articolo 2 del Dlgs 36/2003. Tale decreto, recepisce, di fatto, le disposizioni dell'Allegato 2 alla direttiva così come integrate dalla proposta di decisione della Commissione Europea relativa alla procedure per la classificazione e l'ammissione dei rifiuti negli impianti di discarica, ai metodi di controllo, campionamento ed analisi nonché ai criteri che devono essere rispettati per alcuni rifiuti pericolosi ai fini del loro smaltimento in discariche per rifiuti non pericolosi. In particolare, il decreto fissa le caratteristiche che i rifiuti dovranno possedere per essere ammessi nelle tre diverse tipologie di discarica; tutti i rifiuti dovranno essere caratterizzati dal punto di vista chimico-fisico secondo analisi standard e, sottoposti a test di eluizione, dovranno avere un eluato conforme ai limiti fissati per una serie di parametri chimici. Sono ammessi in discarica senza preventiva caratterizzazione una serie di rifiuti puntualmente individuati; in particolare, per le discariche di rifiuti inerti, viene definito, conformemente alle disposizioni comunitarie, un elenco positivo di rifiuti ammessi; per le discariche di rifiuti non pericolosi sono, invece, ammessi senza caratterizzazione analitica, i rifiuti urbani classificati come non pericolosi nel capitolo 20 dell'elenco dei rifiuti, le porzioni non pericolose dei rifiuti domestici raccolti separatamente e gli stessi rifiuti non pericolosi di altra origine ma di analoga composizione. Con successivo decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con i Ministri delle attività produttive e della salute, sentito il parere della Conferenza Stato-Regioni sarà, inoltre, individuata una lista positiva di rifiuti non pericolosi ammessi in discarica senza preventiva caratterizzazione. Il decreto detta, inoltre, specifiche disposizioni riguardanti i rifiuti di amianto o contenenti amianto che potranno essere conferiti in discariche per rifiuti pericolosi dedicate o dotate di cella dedicata o in discariche di rifiuti non pericolosi anch'esse dedicate, in questo caso i rifiuti dovranno sia essere preventivamente sottoposti a processi di trattamento finalizzati al contenimento del potenziale inquinante, sia rispondere a specifici criteri di ammissibilità indicati nel decreto stesso. Non sono assoggettati a detti criteri di ammissibilità i rifiuti sottoposti a trattamento termico con modificazione della struttura cristallina per i quali venga verificato presso l'impianto di trattamento, con periodicità stabilita dall'autorità competente, che non contengano più amianto. Per i rifiuti individuati con il codice dell'elenco 17 06 05 (materiali da costruzione contenenti amianto) viene sempre consentito lo smaltimento in discariche per rifiuti non pericolosi dedicate o dotate di cella dedicata. Le rigide prescrizioni tecniche contenute nel decreto legislativo 36/ hanno anche lo scopo di riequilibrare i costi di smaltimento in discarica rispetto ai costi relativi ad altre forme di smaltimento e/o recupero. Il costo dello smaltimento in discarica tende infatti, al momento attuale, ad essere troppo basso rispetto ad altre forme di trattamento come, ad esempio, il recupero e tale situazione determina di fatto il ricorso diffuso a tale forma di gestione dei rifiuti.

Il decreto 36/2003 prevede, pertanto, che i costi di smaltimento in discarica derivanti dalla realizzazione dell'impianto e dal suo esercizio, quelli connessi alla costituzione della garanzia finanziaria di cui all'art. 28 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, nonché i costi stimati di chiusura e di gestione successiva alla chiusura per un periodo di almeno 30 anni, siano coperti dal prezzo applicato dal gestore per lo smaltimento di qualsiasi tipo di rifiuti. Le disposizioni transitorie prevedono che le discariche già autorizzate alla data di entrata in vigore del decreto possano continuare ad operare fino al 16 luglio 2005. Per quanto riguarda invece i limiti di accettabilità dei rifiuti nelle nuove discariche, è stabilito che la Deliberazione del Comitato Interministeriale del 27/7/84 e il DRP 8/8/94 in materia di amianto e le deliberazioni regionali ad esso connesse, rimangano in vigore fino al 16 luglio 2005, fatte salve le seguenti prescrizioni:

- a) i rifiuti destinati a discariche di II categoria tipo A dovranno essere smaltiti in discariche per rifiuti inerti;
- b) i rifiuti destinati alle discariche di prima categoria e a discariche di II categoria tipo B saranno smaltiti in discariche per rifiuti non pericolosi;
- c) i rifiuti destinati alle discariche di II categoria tipo C e terza categoria saranno smaltiti in discariche per rifiuti pericolosi.

Entro sei mesi dall'entrata in vigore del decreto, il titolare dell'autorizzazione dovrà presentare all'autorità competente un piano di adeguamento della discarica alle prescrizioni del decreto, incluse le garanzie finanziarie. Il termine finale per l'ultimazione dei lavori di adeguamento non potrà, in ogni caso, essere successivo al 16/7/2009. In caso di mancata approvazione del piano di adeguamento l'autorità dovrà provvedere alla chiusura della discarica.

Costruzione di una discarica di rifiuti

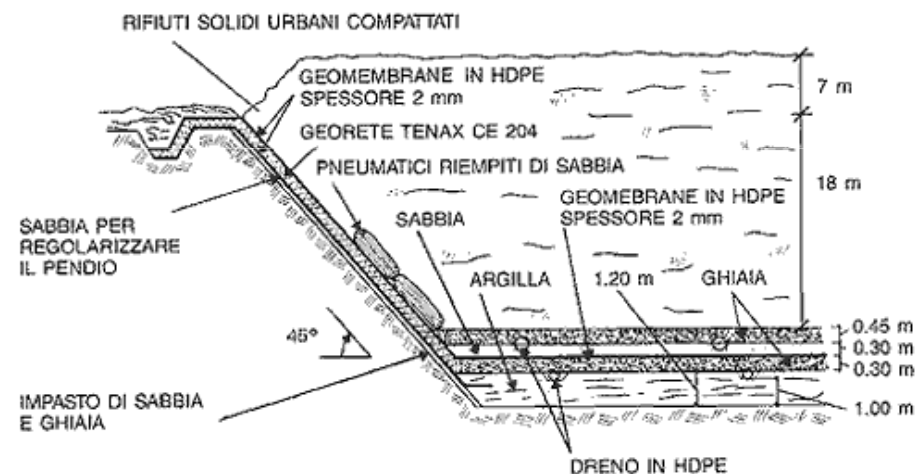
L'elemento essenziale di una discarica, come fissa anche il Dlgs.36/2003 è il sistema di impermeabilizzazione, sia del terreno su cui poggia la discarica, che delle pareti laterali.

Prima della costruzione della discarica deve essere effettuato, infatti, uno studio approfondito del territorio, il terreno che costituisce il fondo della discarica deve avere un coefficiente di permeabilità molto basso per uno spessore maggiore di un metro, così anche le pareti laterali della discarica in modo da generare una *barriera biologica* soddisfacente.

Inoltre la normativa impone che al di sopra di questo strato "biologico", si metta una geomembrana costituita da materiale artificiale, in genere polietilene ad alta densità. Al di sopra della geomembrana si dispone un ulteriore telo che è il geotessuto avente una orditura trasversale che protegge il sistema di drenaggio del percolato. Sopra il geotessuto solitamente si fa un piccolo strato di sabbia. In fig. 2 è riportata la sezione del progetto definitivo della discarica: tenendo conto che il terreno sottostante è costituito da sabbie e ghiaie cementate, molto permeabili, sul fondo della discarica l'impermeabilizzazione di sicurezza è stata ottenuta con uno strato di argilla dello spessore minimo di 1 m; sulle pareti, essendo impossibile posare l'argilla su un pendio a 45°, si è fatto uso di una geomembrana in HDPE dello spessore nominale di 2 mm, identica a quella utilizzata su fondo e pareti per l'impermeabilizzazione primaria. Per il drenaggio di sicurezza tra le due geomembrane sulle pareti laterali, essendo impossibile utilizzare uno strato di sabbia su tali pendenze, il progettista ha scelto le georeti TENAX CE 204, spesse solo 5 mm ma in grado di drenare la stessa quantità d'acqua di 0.50 m di sabbia.

Le georeti TENAX CE 204, ancorate insieme alle geomembrane nelle cunette in cima al pendio, consentono di realizzare le sponde con la massima pendenza compatibile con la stabilità del suolo sottostante, consentendo così sensibili guadagni di volume delle vasche. Per il drenaggio sul fondo è stata scelta una soluzione tradizionale con sabbia e pietrisco, raccordato alla georete TENAX CE 204. Prima della posa della geomembrana di sicurezza, il pendio è stato lisciato con un sottile strato di sabbia. Le geomembrane sono state saldate tra loro mediante saldature ad estrusione tra i due lembi sovrapposti. Le georeti TENAX CE 204 sono state collegate tra loro mediante legatura con lacci di plastica. Il controllo della saldatura è stato fatto con il metodo a ultrasuoni, che si è rivelato piuttosto lungo e complesso pur non ponendo particolari problemi. Durante il periodo di collaudo, anche durante forti piogge, non è giunta acqua al pozzetto di controllo collegato al drenaggio di sicurezza, garantendo così la perfetta impermeabilità della geomembrana primaria.

Figura 2. Sezione del progetto di una discarica



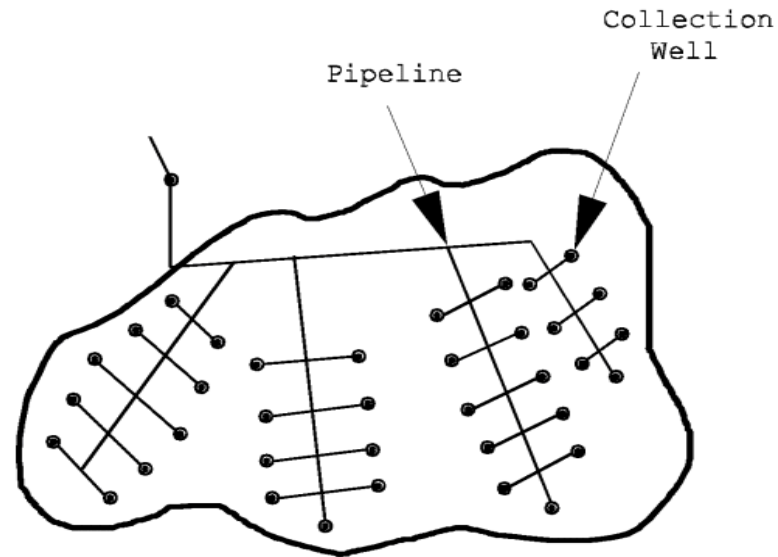
I rifiuti che vengono messi in discarica sono ordinati formando celle. Ogni cella è una zona della discarica controllata che viene colmata nell'arco di un giorno lavorativo. Al di sopra di tale cella si inserisce uno strato di terreno alto circa 20-30 cm al fine di isolarla, ovvero limitare la fuoriuscita di biogas ed infiltrazioni all'interno dei rifiuti. Altro punto fondamentale per una corretta gestione delle discariche controllate è la raccolta del percolato, ossia delle acque reflue che si raccolgono sul fondo della discarica, derivanti dalle acque meteoriche e da ciò che si ottiene dai processi biologici.

Il percolato, altamente inquinante essendo costituito da sostanze instabili che potrebbero alterare l'impermeabilizzazione della discarica, viene raccolto sul fondo della discarica, dove è presente il sistema di drenaggio e inviato a depurazione. Le discariche moderne sono realizzate in grandi concentrazioni e con una forte compattazione per una utilizzazione ottimale dello spazio disponibile; in queste condizioni viene a formarsi il biogas, una miscela gassosa derivante dai processi che si innescano anche spontaneamente nei grossi accumuli di sostanza organica putrescibile quando in essa vi è carenza di ossigeno. È composto per circa metà di metano (CH_4) e per il resto di anidride carbonica (CO_2) e altri gas in tracce. Se non raccolto il gas tende a disperdersi verso l'ambiente circostante, con inquinamento atmosferico e diffusione di cattivi odori per molte centinaia di metri.

Formazione del biogas

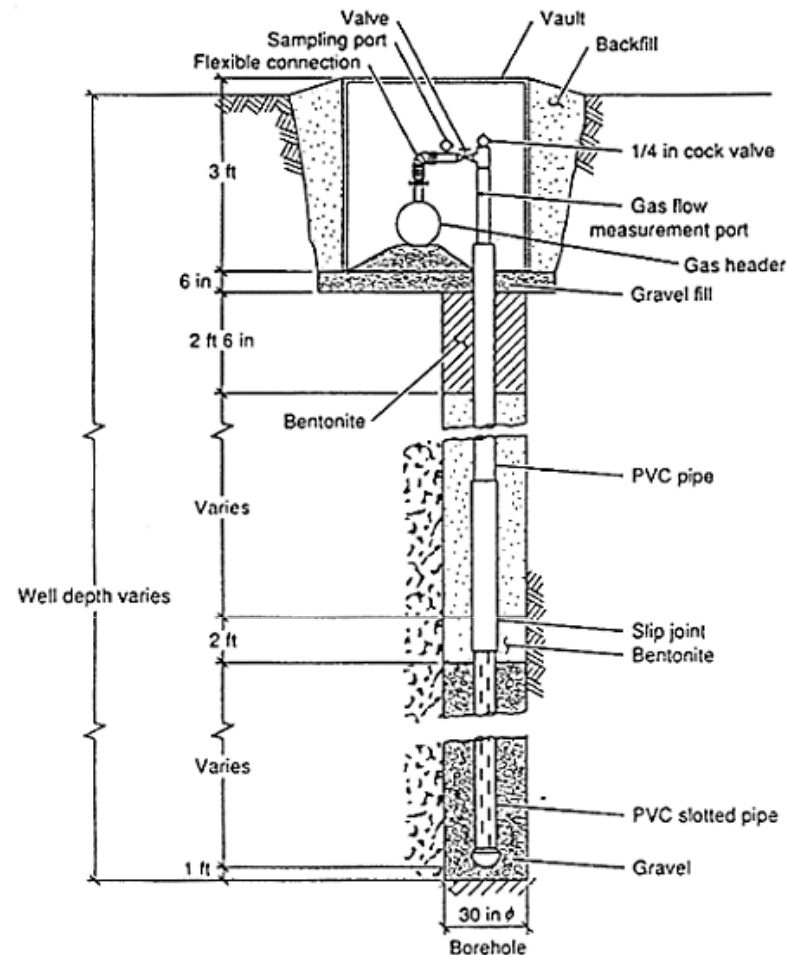
Nelle discariche fortemente compattate le sostanze organiche subiscono un processo iniziale di decomposizione aerobica solo nello strato superficiale a contatto con l'atmosfera, prima della copertura finale. Con ossidazione completa si formano acqua, e anidride carbonica ed inoltre si sviluppa calore (*stadio I*). Consumato l'ossigeno, la decomposizione entra in fase anaerobica, dove si distinguono altri tre stadi. Lo *stadio II* in cui predominano batteri anaerobici, è detto di "fermentazione acida", a causa della forte produzione di acidi organici grassi, oltre ad alcool, anidride carbonica e idrogeno. Nello *stadio III* ("fermentazione metanica instabile") e nello *stadio IV* (fermentazione metanica stabile), i prodotti intermedi vengono trasformati, con l'aiuto di batteri specializzati nei prodotti finali principali come il metano e anidride carbonica, oltre a una serie di altri gas in piccola percentuale. I batteri del metano sono molto sensibili, crescono lentamente ed hanno particolari esigenze di pH, temperatura, umidità, sostanze nutritive (in particolare il rapporto N/P). Perciò lo stadio III è instabile, in relazione a condizioni dell'ambiente non ancora ottimali per lo sviluppo dei suddetti batteri, con forti oscillazioni nella quantità e nella concentrazione del gas prodotto. In condizioni favorevoli lo stadio IV può essere raggiunto in pochi mesi, ma a volte può richiedere alcuni anni per affermarsi. La durata della produzione di biogas può essere prevista con scarsa attendibilità. Il fenomeno di produzione e fuoriuscita del biogas inizia con vigore solo parecchi mesi dopo l'interramento dei rifiuti (da 6 a 24 mesi) e si protrae per 10 ÷ 20 anni. Il gas che si forma nel corpo della discarica deve essere fatto uscire in modo controllato, per via naturale o mediante installazioni tecniche, la fig.3 mostra uno schema tipico di condotti di captazione del biogas. Nel sistema di *degasamento naturale*, tipico delle discariche tradizionali, il biogas esce nell'atmosfera in modo distribuito, attraverso la superficie della discarica senza l'ausilio di installazioni tecniche. Nel sistema di *degasamento artificiale*, la predisposizione di apparecchiature per la captazione del biogas, permette di raccogliere il biogas prodotto dalla discarica e destinarlo ad un utilizzatore. I sistemi di degasamento possono essere di tipo orizzontale o verticale, il secondo è il più utilizzato. I condotti di estrazione del biogas sono, normalmente, distribuiti uniformemente su tutta la superficie della discarica, in modo da evitare zone di ristagno per i gas; la loro spaziatura reciproca e la profondità di immersione dipendono dalle condizioni operative e di progetto della discarica.

Fig. 3 - Schema tipico dei condotti di captazione del biogas



Per la sicurezza dell'impianto, intorno al perimetro esterno ed al di sotto del fondo della discarica, vengono installati vari sensori capaci di monitorare l'effettivo funzionamento del sistema di captazione e l'efficienza dei sistemi di contenimento per il biogas ed il percolato. I sistemi di degasamento verticale (fig.4) sono costituiti da camini che attraversano tutto o parte dello spessore della discarica convogliando il gas in superficie. Poiché tali camini costituiscono un richiamo per le acque di percolazione devono essere muniti di adeguati dispositivi di drenaggio. La tecnica di costruzione di tali camini per discariche in esercizio è la seguente. Una prima possibilità consiste nel realizzare pozzi in anelli forati di cemento armato prefabbricato con diametro 1,0 ÷ 1,5 m, collocati sopra una fondazione di calcestruzzo a partire dalla base della discarica. I pozzi vengono di regola riempiti con pietrisco e ghiaia grossa; nel pozzo si colloca un tubo forato per la raccolta e l'utilizzazione del gas. Al posto degli anelli in calcestruzzo possono essere utilizzati gabbioni in filo di ferro zincato riempiti di pietre e pietrisco.

Fig. 4 - Particolare di un condotto per l'estrazione del biogas



Una terza possibilità consiste nell'uso di tubi in acciaio del diametro di circa 1 m come casseforme estraibili dopo riempimento con pietrisco. Con il progressivo sopraelevamento della discarica, il tubo di acciaio viene gradualmente estratto.

Si forma in tal modo una colonna di pietrisco direttamente a contatto con i rifiuti, che facilita l'accesso dei gas rispetto alla soluzione dei pozzi con anelli in cemento forato. Interventi di captazione effettuati dopo la chiusura della discarica consistono invece nella realizzazione di pozzi trivellati, possibilmente fino alla base della discarica, oppure nell'inserimento di sonde fino alla profondità di 4 ÷ 8 m. Di solito le sonde hanno efficacia sensibilmente inferiore a quella dei pozzi trivellati e servono per un degasamento forzato.

Utilizzazione del biogas

Poiché il rendimento di conversione associabile ad un processo di utilizzazione del biogas è relativamente basso, si può avere un apprezzabile recupero energetico solo da discarica di grossa capacità; per discariche di piccola e media capacità, il biogas captato viene in genere bruciato in torcia con dispersione dei fumi in atmosfera.

Produzione di calore

Mediante combustione, il biogas può essere utilizzato per il riscaldamento e la produzione di acqua calda o vapore per usi civili o industriali; infatti per questi usi è adatto anche un gas con un contenuto modesto di metano. Normalmente non sono necessarie particolari misure di pretrattamento, ma la temperatura dei fumi di combustione non può essere inferiore a $180 \div 200$ °C, per evitare la formazione di condense e quindi di acido solforoso e solforico (a partire da SO_2 e SO_3 derivati dall'ossidazione di H_2S). L'economia di queste operazioni dipende soprattutto dalla distanza dell'utenza, che deve essere abbastanza piccola, e da un fabbisogno di calore il più possibile continuo nel corso dell'anno.

Produzione di energia elettrica

Il biogas può essere utilizzato per la propulsione di motori a combustione interna accoppiati ad alternatori elettrici. Tali motori sono di tipo lento (di derivazione navale) studiati per funzionare con gas povero. In questo modo può essere recuperata circa 1/3 dell'energia contenuta nel gas mentre il resto viene perduto sotto forma di calore immesso nell'ambiente. Esiste anche la possibilità di migliorare il rendimento (fino al 70%) utilizzando il calore dei gas esausti per la coproduzione di acqua calda o vapore.

Impiego come gas domestico

Negli U.S.A. è stata sperimentata l'introduzione del biogas nelle reti di distribuzione cittadina. A tal fine sono necessarie una distanza ravvicinata della rete dalla discarica (per evitare centrali di pompaggio energeticamente onerose), la disponibilità di grosse quantità ed una buona qualità dei gas. È quindi necessario un pretrattamento sia per la depurazione (desolforazione) che per l'arricchimento (abbassamento del titolo di CO_2) del gas. Il biogas viene poi immesso in rete previa omogenea miscelazione con il gas metano.

La termovalorizzazione dei rifiuti

La termodistruzione rappresenta un'efficace tecnica per trattare i rifiuti, sfruttando il loro contenuto energetico per produrre energia. In particolare nell'ambito dei rifiuti urbani, la termodistruzione può essere utilizzata per trattare la quota di rifiuti che non viene intercettata dai processi di raccolta differenziata o sulla quale è comunque difficilmente praticabile un recupero di materia che garantisca risultati soddisfacenti ed economicamente sostenibili. Tali impianti possono assolvere contemporaneamente a più funzioni:

1. ambientale, in quanto evitano la messa in discarica rifiuti, e quindi il loro potenziale danno sull'ambiente;
2. igienica, in quanto la combustione è un processo che non lascia scampo a nessun agente patogeno;
3. risparmio energetico, poiché permettono di vedere il rifiuto come fonte di energia.

L'incenerimento dei rifiuti urbani nel 2002, secondo i dati riportati nel recente Rapporto Rifiuti 2003, ammontano a circa 2,7 milioni di tonnellate. I rifiuti classificati come pericolosi trattati in impianti per rifiuti urbani consistono, sempre nello stesso anno, in oltre 45.000 tonnellate rappresentate quasi esclusivamente da rifiuti sanitari. Le quantità complessive avviate a termotrattamento rimangono, comunque, estremamente basse; il confronto con i dati europei pone l'Italia nel gruppo dei Paesi che fanno meno ricorso a questa forma di trattamento dei rifiuti. La media europea di rifiuti urbani avviati a valorizzazione energetica è pari, infatti, a circa il 19%; il panorama, tuttavia, appare molto diversificato con un Nord Europa caratterizzato da percentuali elevate intorno al 30% e l'area del Mediterraneo con valori molto bassi. Un sistema integrato dovrebbe basarsi su raccolte differenziate spinte (il D.lgs.22/97 fissava al 2003 la percentuale del 35%), seguite da livelli elevati di recupero energetico (minimo 20%) e da quote sempre più basse di smaltimento in discarica. Per realizzare il modello proposto sarebbe necessario potenziare la raccolta differenziata soprattutto nelle regioni del centro-sud, realizzare gli impianti di incenerimento con recupero energetico, dove necessario, ammodernare il sistema impiantistico esistente, sia attraverso il potenziamento delle linee di trattamento sia attraverso il miglioramento delle performance ambientali degli impianti, soprattutto per quanto riguarda le emissioni e la produzione e la gestione delle scorie e delle polveri da combustione. La distribuzione degli impianti sul territorio nazionale, sia nel 2001 che nel 2002, rimane molto disomogenea; dei 44 impianti operativi nel 2001, ben 32 sono localizzati al Nord, 9 al Centro e solo 3 al Sud. Nel 2002 gli impianti, pur aumentando (da 44 a 48), mantengono la stessa distribuzione territoriale. Dei 48 impianti operativi, 34 sono localizzati nel Nord, 14 in Lombardia (di cui ben 6 nella sola provincia di Milano) e 10 in Emilia Romagna. Nelle regioni del Centro solo la Toscana, con i suoi 8 impianti, presenta una sufficiente potenzialità impiantistica; gli altri due impianti censiti sono localizzati rispettivamente nelle Marche e in Umbria.

Nelle regioni del Sud, sempre nel 2002, risultano operativi solo 4 impianti: due in Sardegna, uno in Puglia e uno in Sicilia. La differenza nel numero degli impianti operativi si traduce poi, a livello gestionale, in termini di quantitativi trattati; in questo caso si può rilevare, che nel 2002, oltre l'87% dei rifiuti totali inceneriti è stato trattato in impianti localizzati nel nord, mentre la rimanente quota è ripartita quasi equamente al centro e sud Italia. L'analisi della situazione a livello regionale consente di effettuare alcune considerazioni: in particolare, nelle aree del Nord Italia e parzialmente in alcune regioni del Centro (Toscana in particolare e, in misura inferiore, Marche ed Umbria) la situazione, in relazione alla gestione integrata dei rifiuti urbani, appare abbastanza confortante anche se in presenza di alcune differenze nei dati di riferimento delle regioni considerate. Complessivamente le regioni del nord hanno raggiunto, nel 2002, un buon livello di raccolta differenziata (intorno al 31%) e di incenerimento (17%); se si esaminano, altresì, alcune realtà specifiche come la Lombardia (36% di raccolta differenziata e 29% di rifiuti urbani avviati ad incenerimento), l'Emilia-Romagna (26% di raccolta differenziata e 22% di rifiuti urbani avviati ad incenerimento) ed il Friuli-Venezia Giulia (24% di raccolta differenziata e 20% di rifiuti urbani avviati ad incenerimento), la situazione appare in linea con un modello efficiente di gestione dei rifiuti. Il Veneto, che ha raggiunto nel 2002 le percentuali più elevate di raccolta differenziata (39%), presenta ancora una quota alquanto bassa di rifiuti inceneriti (7%), ma in prospettiva futura, col potenziamento degli impianti esistenti e l'entrata in funzione dell'inceneritore di Verona, dovrebbe modificare in maniera significativa l'attuale sistema.

La situazione è ben diversa nelle regioni del centro e del sud che gestiscono i rifiuti affidandosi quasi totalmente allo smaltimento in discarica con le sole eccezioni, come già evidenziato, della Toscana, dell'Umbria e delle Marche.

La marcata disparità dovrebbe, almeno per quanto riguarda la potenzialità di incenerimento, migliorare nei prossimi cinque o sei anni se i progetti di pianificazione, già avviati nel Lazio e in corso in Campania, Puglia, Basilicata, Calabria e soprattutto in Sicilia, troveranno una concreta realizzazione. In particolare, nel Lazio già dal 2003 sono operativi gli impianti di Colferro e S. Vittore che trattano CDR, mentre in parallelo sarà potenziato il quadro impiantistico per la produzione di CDR e frazione secca da avviare a termovalorizzazione. In Campania dovrebbero essere realizzati due impianti con una capacità di circa 400.000 tonnellate all'anno ciascuno, rispettivamente ad Acerra (NA) e a S. Maria La Fossa (CE); tali impianti si integrano con il potenziamento e la realizzazione di impianti di compostaggio e produzione di CDR. In Puglia nel 2003 ha iniziato l'attività l'impianto di Statte (TA), mentre da agosto dello stesso anno è operativo l'impianto di Massafra che tratta CDR. In Basilicata l'impianto di Melfi, che ha una linea per rifiuti speciali già operativa, dovrebbe essere operativo entro il 2004, mentre il nuovo impianto di Potenza potrebbe terminare la fase di collaudo entro la fine del 2005. In Calabria è in corso la realizzazione dell'impianto di Gioia Tauro con una capacità di oltre 130.000 tonnellate all'anno ed una potenzialità di recupero energetico di 120.000 MWh/a. In Sicilia si dovrebbe realizzare uno dei più significativi interventi di pianificazione della gestione dei rifiuti urbani con la realizzazione di stazioni di trasferimento ed impianti per la selezione della frazione organica, biostabilizzazione e produzione di frazione secca, quest'ultima da avviare ad impianti di incenerimento con recupero energetico. In questo progetto è prevista la realizzazione di quattro impianti rispettivamente a Bellolampo (PA), Augusta (SR), Casteltermini (AG) e Paternò (CT); quest'ultimo in particolare sostituirà l'impianto attualmente operativo di Messina privo di recupero energetico.

Per quanto riguarda il Nord, bisogna ricordare che è terminata la fase di istruttoria tecnica per l'impianto di Ischia Podetti che servirà la provincia di Trento, la cui operatività è prevista per il 2006. In Lombardia sarà operativo, probabilmente entro la fine del 2004, l'impianto di termovalorizzazione di Corteolona (PV). Sempre entro la fine dell'anno in corso dovrebbero entrare in attività sia il nuovo impianto di Bologna sia l'impianto di termovalorizzazione di Bergamo; entrambi sostituiranno i precedenti impianti, quello di Bologna ancora operativo e quello di Bergamo che ha cessato l'attività nel 2003. La realizzazione dei nuovi impianti dovrebbe portare ad un notevole aumento della potenzialità di incenerimento e termovalorizzazione dei rifiuti urbani soprattutto nelle regioni del centro e del sud. Si può stimare che, considerando un aumento costante annuo della produzione di rifiuti di circa l'1,5%, l'incenerimento e la connessa termovalorizzazione possa arrivare ad una quota di oltre il 20% dei rifiuti prodotti a livello nazionale; in termini di potenzialità, si dovrebbe passare entro il 2007 dalle attuali 4 milioni di tonnellate ad oltre 7 milioni di tonnellate anno. Per concludere, occorre ricordare che nel 2002, dall'incenerimento dei rifiuti urbani, sono stati prodotti oltre 1,4 milioni di MW di energia elettrica, in parte ceduta alla rete di distribuzione, e oltre 1,1 milioni di MW di energia termica, in genere utilizzati per autoconsumo ed in minor parte per teleriscaldamento (come nel caso di Milano e Brescia).

Contenuto energetico degli RSU

Negli ultimi trenta anni l'emergere di nuovi stili di vita e di consumo ha notevolmente modificato la composizione dei rifiuti solidi urbani. La presenza di scarti organici si è andata progressivamente riducendo, a fronte di un sostanziale aumento dei rifiuti da imballaggio (ormai il 40% del totale). In particolare, la forte presenza di materiali da imballaggio quali plastica, carta e cartone caratterizzati da un elevato contenuto energetico ha fatto progressivamente aumentare il potere calorifico complessivo dei rifiuti solidi urbani (tab.2)

Tabella 2. Composizione degli RSU e potere calorifico

Tipologia	Peso (%)	P.C.I (kcal/kg)	Umidità (%)
Sostanza organica	31	1000	75
Plastiche e gomme	13	7300	6
Carta e cartoni	24	2900	30
Tessili e legno	7	1300	42
Vetro e inerti	8		
Metalli	4		
Sottovaglio	13	2200	40
TOTALE	100	2200	40

Il potere calorifico dei rifiuti si aggira oggi mediamente sulle 2.000 - 2.200 kcal/kg. Quando il rifiuto è preselezionato, quando cioè viene sottratta la sostanza organica (che viene avviata a compostaggio), il potere calorifico sale ad oltre 3.000 Kcal/Kg (tab.3)

Tabella 3. Potere calorifico dei rifiuti e di altri combustibili

COMBUSTIBILE	POTERE CALORIFICO (kcal/kg)
RSU	2000-2500
RDF	3000-5000
Legno	3000-3500
Lignite	2600-3000
Gas di città	3600
Gas naturale	7700
Carbone	6000-7800

Il contenuto energetico dei rifiuti è estremamente importante ai fini sia dell'efficienza di esercizio degli impianti di termovalorizzazione, sia del rendimento in termini energia prodotta. Quando il potere calorifico dei rifiuti è inferiore a 1.200 kcal/kg la combustione risulta difficoltosa e diviene necessario adottare accorgimenti particolari tra i quali l'aumento della quantità di aria immessa, operazione delicata in quanto rischia di ridurre la temperatura di combustione ed accrescere il volume dei fumi da raffreddare, depurare ed evacuare in atmosfera, con inevitabili perdite di rendimento. In secondo luogo, il contenuto calorifico dei rifiuti determina il rendimento energetico dell'impianto di termovalorizzazione. Dalla termo-distribuzione di una tonnellata di RSU con potere calorifico medio si possono produrre dalle 2,5 alle 3 tonnellate di vapore oppure 500-600 KWh di energia elettrica. Il PVC è presente in maniera modesta negli RSU (0,5 - 0,7%), in quanto è utilizzato prevalentemente per la produzione di beni durevoli con un ciclo di vita molto lungo. Tuttavia, il PVC ha un potere calorifico significativo, ovvero dello stesso ordine di grandezza di quello del legno e superiore a quello della carta.

Caratteristiche chimiche dei rifiuti e produzione di inquinanti.

La composizione chimica dei rifiuti inviati a termodistruzione incide (anche se con una correlazione non lineare ed influenzata da fattori legati al funzionamento dell'impianto) sulla composizione dei fumi prodotti dalla loro combustione. La tabella 4 riporta la i tenori medi dei principali microinquinanti contenuti negli RSU. Quando si parla di termodistruzione dei RSU sicuramente la paura più grande è costituita dalla emissione delle diossine; vediamo più da vicino cosa sono. Il termine generico "diossine" si riferisce ad una famiglia di composti organici clorurati, le policlorodibenzodiossine (PCDD), alla quale appartengono ben 75 composti diversi, la cui tossicità varia fortemente a seconda della struttura chimica. Le diossine sono ubiquitariamente presenti nell'ambiente. L'esposizione globale dell'uomo alle diossine è stata valutata in diversi Paesi europei in una assunzione quotidiana media di 120 pico-grammi; negli ultimi anni, però, si è registrato un significativo calo dei livelli di diossine nell'ambiente ed il trend è destinato a continuare negli anni futuri. Le diossine, come molte altre sostanze nocive, si formano in seguito alla combustione incompleta di qualsiasi materiale organico in presenza di cloro di qualsiasi provenienza, sia esso organico che inorganico.

Tabella 4. Tenori medi dei principali microinquinanti contenuti negli RSU

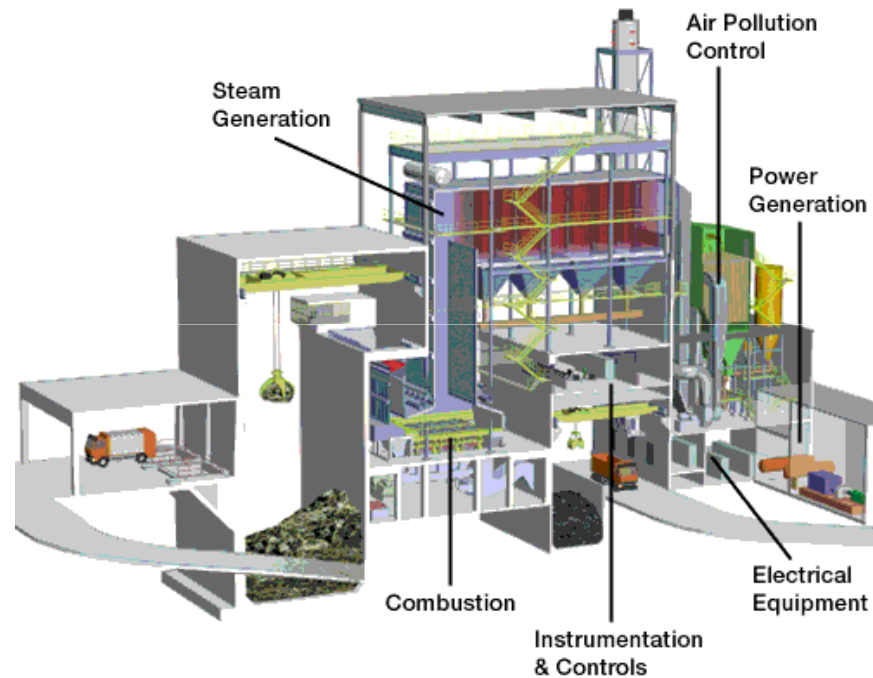
Sostanza	Concentrazione (mg/kg RSU)
Arsenico	0,6
Cadmio	7,4
Cromo	10,7
Manganese	215,6
Mercurio	0,07
Piombo	247,6
Rame	161,8
Zinco	1558,3
Clorobenzeni	12,6
Clorofenoli	521,3
Policlorobifenili	79,8
Diossine	19,8
Furani	2,3

Nei processi di incenerimento dei rifiuti solidi urbani le diossine si formano quando le temperature di combustione sono inferiori a 850°C. Esse vengono originate sia dai precursori clorurati presenti in varie tipologie di rifiuti (CPs, PCBs) sia da particelle carboniose in presenza di cloro, vapor d'acqua, ossigeno e cloruri inorganici che agiscono da catalizzatori in intervalli di temperatura compresi tra i 200 e i 400°C. Per evitare le reazioni di formazione delle diossine viene utilizzata una camera di post combustione in cui si immettono i fumi uscenti dalla camera di combustione. In ogni caso, le diossine sono già contenute nei rifiuti in quantità superiori a quelle immesse nell'atmosfera, attraverso i fumi della combustione. L'incenerimento di RSU condotto secondo le moderne tecnologie contribuisce, infatti, alla riduzione della presenza di diossine nell'ambiente. Studi recenti, basati su bilanci di materia accurati, hanno provato che le diossine che entrano con i rifiuti in un inceneritore sono da 40 a 100 volte superiori a quelle emesse nell'atmosfera, nelle acque e nelle ceneri, dai fumi di combustione. Il PVC, presente in misura estremamente modesta nei rifiuti solidi urbani, non è responsabile della formazione di microinquinanti organo-clorurati. Il tenore complessivo in cloro dei rifiuti è generalmente al di sotto dell'1% e la quota parte addebitabile al PVC non supera il 35-45% del totale. Il restante 55-65% deriva in prevalenza dal cloruro di sodio e da altri cloruri inorganici contenuti in materiali di uso corrente quali carta, cartone e legno ed in tutti i rifiuti organici.

La correlazione tra quantità di cloro presente nei rifiuti e produzione di diossine è stata messa in discussione da diversi studi condotti in Europa e negli Stati Uniti. Uno studio dell'American Society of Mechanical Engineers, effettuato sui dati provenienti da 450 impianti di incenerimento in tutto il mondo, non ha rilevato nessuna connessione statisticamente significativa tra le concentrazioni di diossina nei prodotti della combustione e l'immissione di cloro. Nell'80% dei casi esaminati, all'aumentare del tenore di cloro presente nei rifiuti, non si è registrata alcuna variazione nelle concentrazioni di diossina nei gas d'uscita. Nell'11% dei casi si è verificato un aumento, mentre il 9% dei casi ha mostrato addirittura una diminuzione nelle concentrazioni di PCDD/F a fronte di un aumento del contenuto di cloro. Un recente studio condotto dall'Istituto di Chimica Ambientale dell'Università di UMEA in Svezia conclude che non c'è correlazione tra le quantità di diossine che si formano nei processi di combustione e il livello di cloro nei combustibili, quando quest'ultimo è inferiore all'1%. Inoltre, nessuna differenza nel tasso di formazione dei microinquinanti clorurati è stata notata tra le diverse sorgenti di cloro (organico e inorganico). Un altro studio recentissimo effettuato dal Centro di Chimica e Ambiente dell'Istituto di Chimica dell'Università di Leiden in Olanda ha verificato che con un incremento sino ad otto volte del carico di PVC negli RSU si è notato solo un lieve incremento del livello delle diossine prodotte. Anche sostituendo la parte compostabile e le altre importanti frazioni contenenti cloro, incluso il PVC, con cellulosa e cloruro di sodio, il livello di clorofenoli non cambia. La rimozione del 70% di PVC e dell'80% della frazione compostabile comporta una riduzione della produzione di clorofenoli di un fattore 2. Diverse altre ricerche condotte in Germania, Inghilterra e Stati Uniti hanno dimostrato come le emissioni di diossina dagli inceneritori di rifiuti solidi urbani si siano ridotte, dal 1970 ad oggi, del 50%; questo, in un periodo in cui la produzione di PVC, negli stessi Paesi, è più che raddoppiata.

Aspetti tecnologici

La termodistruzione consente di ottenere una riduzione del rifiuto pari al 70% in peso e al 90% in volume. Questo sistema risulta quindi efficace per quanto riguarda la riduzione del volume occupato dai rifiuti e permette di recuperare energia sfruttando il contenuto energetico dei rifiuti.



Impianto di termovalorizzazione

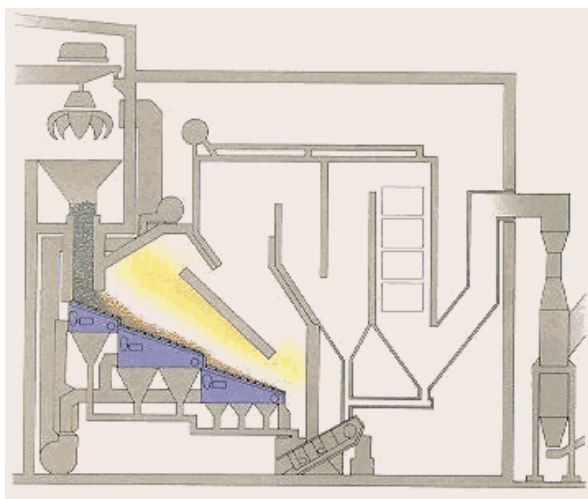
Uno dei parametri che gioca un ruolo rilevante nei processi di termodistruzione è il potere calorifico del rifiuto, definito come il numero di calorie liberate dall'ossidazione stechiometrica di 1 kg di combustibile in condizioni standard. A seconda dello stato fisico (liquido o vapore) in cui viene considerata l'acqua nei prodotti di combustione, si hanno rispettivamente il Potere Calorifico Superiore (Pcs) e il Potere Calorifico Inferiore (Pci). Il potere calorifico dipende dal contenuto di carbonio e idrogeno organicamente legati, nonché dal grado di umidità dei rifiuti.

Le frazioni merceologiche caratterizzate da più elevato potere calorifico sono le materie plastiche (6.000-9.000 kcal/kg) ed i materiali cellulosici (legno e carta) (3.500-4.000 kcal/kg), mentre la cosiddetta frazione organica del rifiuto (vegetali e scarti di cucina) presenta valori nettamente più bassi.

Il forno di termodistruzione costituisce la parte centrale di questi impianti, le tipologie più utilizzate si possono così sintetizzare:

- forni a griglia
- forni a tamburo rotante
- forni a letto fluido
- forni ad aria controllata.

Forni a griglia



Rappresentano la tipologia più diffusa e sperimentata per la realizzazione di camere di combustione per rifiuti urbani e sono derivati da installazioni simili per la combustione di carbone. La potenzialità di questo forno può variare da qualche decina di tonnellate al giorno fino a 800-1000 t/d. La *griglia*, che può essere fissa o mobile, è la base del letto di rifiuti che devono essere combusti. L'aria comburente viene iniettata in parte da sotto la griglia (aria primaria) e in parte sopra il letto (aria secondaria), in modo da consentire il completamento della combustione. In generale l'aria iniettata sotto griglia è in quantità circa stechiometrica in relazione al quantitativo di rifiuto presente sul letto. L'aria secondaria, invece, venendo fornita in eccesso, permette di controllare la temperatura dei fumi. In generale, i forni a griglia fissa sono adatti ad elaborare piccole portate di rifiuti (qualche t/d). Nei forni a griglia mobile, che sono quelli di maggior impiego, il rifiuto viene introdotto attraverso una tramoggia di carico; la griglia a contatto con il rifiuto è sottoposta a movimentazione di vario tipo, al fine di permettere al rifiuto di miscelarsi con l'aria e di avanzare verso la zona di evacuazione delle scorie (tramoggia di espulsione). In corrispondenza della prima parte della griglia (vicino all'alimentazione) avviene l'essiccamento, con liberazione di acqua e sostanze volatili e modesta perdita di calore. Il rifiuto essiccato passa alla seconda zona della griglia dove avviene la combustione della parte organica. La parte che giunge alla fine della griglia senza essere bruciata (o perché incombustibile o per altre ragioni) viene avviata allo scarico ed eventualmente ritrattata. Anche attraverso la griglia si ha passaggio di scorie fini che vengono raccolte da apposite tramogge e mescolate alle scorie pesanti. Il tempo di permanenza complessivo è di 30/60 minuti. Secondo la legislazione italiana attuale, la camera di combustione deve essere seguita da una *regione di postcombustione*, per assicurare il completamento delle reazioni di ossidazione e l'abbattimento delle diossine eventualmente createsi. In tale regione devono instaurarsi temperature non inferiori a 950°C, con tempi di permanenza dei fumi di circa 2 secondi e presenza di almeno il 6% in volume di ossigeno.

Forni a tamburo rotante

Sono costituiti da un cilindro rotante inclinato (in genere 1-3%) sull'orizzontale per facilitare l'avanzamento dei rifiuti. Sono adatti in genere per la termodistruzione di rifiuti speciali (solidi, fusti, fanghi, liquidi). La combustione avviene direttamente a contatto con la parete del forno, in molti casi rivestita di materiale refrattario, il contatto tra combustibile e comburente (aria di combustione) non è molto efficace. Tale contatto può essere incrementato mediante l'introduzione di strutture interne che intensifichino la movimentazione del letto ed il contatto combustibile-comburente.

Forni a letto fluido

Derivano da applicazioni adottate nell'industria chimica. Sono costituiti da un cilindro verticale di acciaio rivestito da refrattario in cui il materiale da termodistruggere viene tenuto in sospensione (fluidificato) da una corrente di aria inviata attraverso una griglia posta alla base del cilindro stesso. In molti casi il cilindro contiene un inerte che si mescola al materiale da bruciare all'atto dell'alimentazione, in modo da favorire i processi di scambio termico, fornire sufficiente inerzia termica al sistema, regolarizzare il processo. Un tipico inerte è la sabbia. Le caratteristiche salienti di tale tipologia impiantistica sono l'elevata efficienza di combustione e i carichi termici specifici elevati che permettono la realizzazione di forni compatti. Altri vantaggi infine sono costituiti dalla notevole efficienza dei recuperi termici, nonché dalla presenza di pochi organi meccanici in movimento. Per contro hanno limitata flessibilità riguardo le caratteristiche dimensionali dei combustibili per cui è poco praticabile l'alimentazione di rifiuto tal quale. Va inoltre attentamente valutata la temperatura di rammollimento e di fusione delle ceneri. Infine si tratta di una tipologia impiantistica relativamente poco praticata per i rifiuti.

Forni ad aria controllata

I forni ad aria controllata sono in genere unità di piccole dimensioni di costruzione modulare, che vengono spesso prefabbricate in stabilimento. Hanno potenzialità di solito non superiori a 1 t/h, e il caricamento è discontinuo. Il rifiuto viene caricato nella camera di combustione primaria, e quindi la camera viene chiusa ed il rifiuto bruciato. In genere il processo di termodistruzione richiede qualche ora (da 4 a 8 ore) e questo è quindi anche l'intervallo tra due cariche successive. Anche l'estrazione delle ceneri avviene in modo discontinuo, spesso in modo manuale, e perciò a sistema freddo. Nella camera secondaria si ha completa ossidazione delle sostanze volatili generate nella zona primaria. In genere, nella camera primaria si hanno temperature dell'ordine di 700/900°C, mentre nella camera secondaria le temperature salgono a 1000/1100°C. La temperatura in uscita dalla camera primaria è comunque superiore alla temperatura di autoaccensione dei composti, per cui la semplice adduzione di aria nella camera secondaria è sufficiente a provocare la combustione.

Le emissioni

Le principali sostanze inquinanti presenti nei fumi prodotti dagli impianti di termodistruzione di RSU, prima di ogni trattamento sono raggruppabili nelle seguenti tre categorie:

1. *polveri*: le polveri sono costituite da particelle di sostanze presenti nei fumi allo stato solido (ossidi di metalli, particelle carboniose ecc.) dette "particolato", sulle quali si fissano le diossine ed altri microinquinanti condensabili;
2. *macroinquinanti*: sono le sostanze presenti in forma gassosa, come biossido e monossido di carbonio, gas acidi come ossidi di azoto, anidride solforosa e acido cloridrico.
3. *microinquinanti*: sono composti tossici presenti anche in concentrazioni molto basse, come i metalli pesanti, i composti organoclorurati quali clorofenoli, policlorobifenili, diossine e furani clorurati e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Una parte degli inquinanti, come ad esempio CO, particelle carboniose e tracce di sostanze organiche, deriva da una combustione incompleta dei rifiuti. Un'altra parte è costituita da polvere, vapori di metalli pesanti (mercurio) e cloruri di essi (ad es. piombo, cadmio ecc.).

Pertanto, oltre ad una corretta gestione degli impianti, è necessario ricorrere ad una fase di depurazione dei fumi che preveda più stadi di abbattimento in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche degli inquinanti.

Abbattimento delle emissioni

Un primo, parziale abbattimento del potenziale inquinante derivante dal processo di combustione avviene grazie ai processi di raffreddamento dei fumi all'interno della caldaia, che riducono la possibilità di sintesi *de novo* delle diossine. Successivamente, prima della loro liberazione in atmosfera, i fumi sono sottoposti ad un trattamento per ridurre ulteriormente il tenore inquinante al di sotto dei parametri previsti dalla legge. Questo trattamento consiste in una serie di operazioni chimico-fisiche di depurazione.

a) Abbattimento delle polveri

L'impianto di abbattimento delle polveri, che deve essere installato a valle della caldaia per il recupero energetico, può essere a cicloni oppure elettrostatico. In quest'ultimo caso occorre mantenere la temperatura dei fumi al di sotto dei 250°C per evitare la sintesi *de novo* delle diossine, che tendono a riformarsi in presenza di scariche elettriche. Una volta abbattute le polveri, occorre procedere alla deacidificazione dei fumi prima di immetterli in atmosfera.

b) Abbattimento dei macro e dei microinquinanti

Esistono diversi processi di abbattimento dei macro e microinquinanti: ad umido, a semi-secco e a secco. Nei processi ad umido i fumi vengono trattati in gorgogliatori di lavaggio con una soluzione di soda caustica. Vengono così abbattuti acido cloridrico, fluoridrico, anidride solforosa e cloruri di metalli pesanti, mentre non vengono abbattuti gli ossidi di azoto e quasi tutto il mercurio. Le diossine normalmente condensate sul particolato, vengono concentrate nei fanghi provenienti dall'abbattimento delle polveri. A valle dei gorgogliatori possono essere installati degli impianti per la conversione degli ossidi di azoto in azoto mediante ammoniaca. Il mercurio, invece, può essere abbattuto con un trattamento a base di solfuro di sodio in una apposita sezione, mentre le diossine residue vengono trattate in filtri a carbone attivo. Nei processi a semisecco vengono utilizzate delle sospensioni acquose di idrato di calcio come agente di neutralizzazione dell'acidità dei fumi. L'idrato di calcio è attivo su tutti gli acidi tranne che sugli ossidi di azoto. Nei processi a secco, invece, si impiegano come agenti di neutralizzazione ossido di calcio ventilato o bicarbonato di sodio. Gli impianti per il trattamento degli altri inquinanti sopra descritti, sono gli stessi.

Controllo delle emissioni di diossine e di HCl

Per ciò che concerne, in particolar modo, le diossine, rese di abbattimento pari al 99,999% sono ormai incluse nelle specifiche di progetto dei nuovi impianti di incenerimento. Per fare un esempio, i limiti relativi a diossine e furani previsti, per i nuovi impianti con potenzialità superiore alle 400 t/giorno, nel Piano Smaltimento Rifiuti della Provincia di Milano, sono pari a 0,012 ng/Nm³, ben otto volte inferiori ai limiti europei più restrittivi (pari a 0,1 ng/Nm³). Anche per ciò che concerne le emissioni di acido cloridrico, negli impianti moderni la quantità di HCl emessa è facilmente contenibile entro i 10 ppm prescritti dalle norme CEE, più restrittive rispetto alle norme nazionali. Negli inceneritori che utilizzano bicarbonato di sodio come agente di neutralizzazione degli acidi presenti nei fumi, nelle normali condizioni di esercizio dell'impianto è possibile rimanere al di sotto di 5 ppm di HC

Tabella 5. Emissioni inquinanti dagli impianti di termovalorizzazione

Concentrazioni (mg/m³ secco in cond.normali)	Limiti normativa italiana	Emissioni vecchi impianti	Emissioni impianti moderni	Massimi oggi raggiungibili
Polveri totali	30	50-200	10-15	<5
Monossido di carbonio	100	500	100	50
Ossido di zolfo	300	50-300	50	<30
Ossidi di azoto	500	15-40	100-300	<70
Sostanze organiche	20		10-20	<1
Acido cloridrico	50	100-800	20-30	<3
Acido fluoridrico	2	2-10	1-5	<0,3
Cadmio composti			0,05-0,1	<0,005
Mercurio			0,1	<0,005
Altri metalli			2	<0,2
PCDD/PCDF	4000 ng/m ³	20-10000 ng/m ³	0,1-1 ng/m ³ TE	<0,1 ng/m ³ TE

Recupero energetico

Un moderno impianto di termodistruzione per rifiuti urbani si attesta su rendimenti complessivi del 20% nell'ipotesi di trasformazione integrale del contenuto energetico in energia elettrica (escludendo quindi forme di cogenerazione). Ciò significa circa 450 kWh/t di energia elettrica prodotta per un rifiuto tal quale con Pci di 2000 kcal/Kg, e 785 kWh/t per una frazione secca selezionata con Pci di 3500 kcal/Kg. Considerando i dati relativi ai rifiuti termodistrutti in Italia nel 1997, che forniscono un valore di 1.746.714 tonnellate di rifiuto tal quale, si può stimare una produzione teorica di energia elettrica pari a 371 GWh/a. Pertanto i 282 GWh/a elettrici prodotti effettivamente in Italia nel 1997 segnalano una situazione di efficienza energetica piuttosto modesta, imputabile alla presenza di un parco impiantistico non aggiornato tecnologicamente e caratterizzato da dimensioni tendenzialmente medio-piccole.

Esempio di un impianto di termovalorizzazione: impianto di Cremona

Situato a circa due chilometri a Sud-Est rispetto alla città, l'impianto di trattamento tecnologico dei rifiuti realizzato da AEM corrisponde alle indicazioni del Decreto Legislativo 22/97 ("Decreto Ronchi") in materia di recupero energetico, poiché prevede una selezione del rifiuto tal quale e l'alimentazione al forno della frazione a maggior potere calorifico. Le principali caratteristiche dell'impianto sono così riassumibili:

- n° abitanti serviti (a regime) 320.000
- n° linee di selezione 1
- n° linee di combustione 2
- potenzialità nominale (tonnellate/giorno) 250
- potenzialità di combustione 250 t/d (rifiuti ospedalieri trattati) 5 t/d
- potenzialità di elettrogenazione (MWh/anno) 28.000
- potenziale termico per teleriscaldamento (gcal/anno) 45.000

La prima linea è attiva dal 1997 e nell'autunno 1999 si è dato inizio alla realizzazione della seconda linea di combustione, entrata in funzione nel 2001.



L'impianto è costituito dalle seguenti sezioni:

A. ricevimento dei rifiuti: i rifiuti conferiti vengono pesati all'ingresso di un'area che rappresenta un primo centro di trattamento integrato delle varie tipologie. I rifiuti vengono successivamente versati nella fossa di ricevimento dove subiscono i necessari controlli;

B. selezione e trattamento dei rifiuti: i rifiuti vengono prelevati dalla fossa da una benna a polipo ed avviati, tramite nastri trasportatori, alle fasi di trattamento e di preselezione. La prima operazione consiste nella triturazione. In questa fase vengono eliminati anche rifiuti ingombranti non triturabili, che sono avviati direttamente in discarica. Successivamente i rifiuti così pretrattati vengono sottoposti alla fase di deferrizzazione, per il recupero di materiali ferrosi, attraverso l'utilizzo di elettromagneti. Infine viene effettuato il trattamento più importante, cioè la separazione di materiale minuto, fondamentalmente costituito dalle frazioni umide (con basso potere calorifico) e da materiale inerte ad alto contenuto di materiali pesanti. Il materiale così ottenuto consente di ottenere una combustione più omogenea, una minore quantità di scorie e polveri ed una migliore funzionalità di tutto il sistema di trattamento fumi e, quindi, un miglioramento delle emissioni;

C. combustione e recupero energetico: il combustibile risultante, tramite un sistema a nastri trasportatori, viene convogliato nuovamente in un'apposita fossa. Da questa sezione viene alimentato il forno, a valle del quale, come previsto dalla normativa italiana, si trova la camera di post-combustione. Dopo la post-combustione i fumi prodotti giungono alla caldaia, che ha la doppia funzione di ottenere un recupero energetico e di raffreddare i fumi per predisporli alla successiva depurazione, sia di tipo fisico che chimico. Dalla caldaia il vapore è inviato a due turbine cui sono collegati alternatori a 6.000 volt. Il vapore di scarico viene inviato al condensatore caldo, che alimenta la rete di distribuzione del calore alle utenze (teleriscaldamento).

I controlli

L'impianto, il cui inserimento paesistico è stato realizzato anche attraverso la costruzione di un bosco-filtro perimetrale, è assoggettato ai controlli di legge (tabella 7). Oltre a ciò, AEM ha introdotto spontaneamente ulteriori azioni di controllo (tabella 8), attraverso il posizionamento di capannine di monitoraggio delle immissioni fisse e mobili ad ulteriore garanzia dei propri addetti, dei cittadini-utenti e del territorio. I controlli di legge riguardano le emissioni gassose al camino: ossidi di azoto (Nox), ossidi di zolfo (Sox), monossido di carbonio (CO), particolato solido, ecc. I controlli addizionali promossi da AEM consentono il monitoraggio di quei contaminanti, soprattutto gassosi (idrocarburi policiclici aromatici, policloro bifenile, polveri fini attraverso centraline al suolo, ecc.), sui quali si sta focalizzando la ricerca e l'evoluzione normativa, ad ulteriore garanzia della salute pubblica. I dati degli analizzatori in continuo dei fumi installati al camino, unitamente a quelli provenienti dalle rete di centraline (2 fisse, 1 mobile) in funzione 24 ore su 24, consentono di affermare come le emissioni in atmosfera, in particolare, siano adeguate alle norme restrittive del Decreto Ministeriale 503/97. Il monitoraggio continuo ha portato a migliorare la gestione dell'impianto e l'efficacia dei trattamenti fumi a sei stadi, inducendo una ulteriore diminuzione, rispetto ai limiti di legge, delle concentrazioni di macroinquinanti. In termini di bilancio ambientale d'area vasta, l'entrata in funzione dell'impianto di recupero energetico e la sua connessione alla rete di teleriscaldamento consentono di quantificare la riduzione di inquinanti, rispetto a quelli emessi da impianti energetici convenzionali (ad esempio le caldaie tradizionali), per l'anno 2003, in -56 tonnellate di monossido di carbonio, -36 tonnellate di ossidi di Zolfo, -9 tonnellate di sostanze organiche volatili. Anche nel caso dei microinquinanti organici e dei metalli pesanti, sono stati riscontrati valori inferiori ai limiti di riferimento, già varati in funzione della minimizzazione dei rischi per popolazione e ambiente. Secondo uno studio effettuato dal Politecnico di Milano.

Produzione di RDF (Refuse Derived Fuel)

Nei RSU sono presenti molte sostanze, alcune delle quali non sono desiderate nei processi di combustione a causa della loro tossicità o del fatto che sono inerti. Una forte presenza di vetro, metalli, e di materiale organico ad alto contenuto di umidità non riesce solitamente ad impedire la combustione, ma ne abbassa fortemente la temperatura. Con le moderne tecnologie si ha la preselezione del rifiuto al fine di separare la frazione combustibile costituita da carta, legno, pellami, plastiche. La frazione così ottenuta, che ha migliori caratteristiche di combustione rispetto ai RSU tal quali, viene compattata in *pellets* (graniglia) e prende il nome di RDF o, meno frequentemente, CDR. La produzione di RDF è finalizzata all'ottenimento di un combustibile che, rispetto al rifiuto solido di partenza, sia più omogeneo, sia stoccabile e trasportabile, abbia un più elevato potere calorifico ed eventualmente contenga in minore quantità composti in grado di dar luogo ad emissioni solide (particolati) o gassose di natura tossica. Le caratteristiche del RDF dipendono sia dalla composizione del rifiuto originario sia dal processo di selezione e raffinazione al quale tale rifiuto è stato sottoposto. È pertanto impossibile definire una precisa caratterizzazione merceologica. In linea di massima, lo si può ritenere costituito da materiali cartacei, plastiche di varia natura, materiali tessili e legnosi, pellami e residui di sostanza organica umida sfuggita alle selezioni. In tabella 5 è riportato il contenuto percentuale dei diversi componenti di un comune RDF.

Tabella 5. Contenuto percentuale dei diversi componenti di un comune RDF

MATERIALI	% in peso
Carta e cartone	65 ÷ 70
Materia lignocellulosica	68
Plastica	20
Plastica rigida	1,5 ÷ 2,5
Tessili	8 ÷ 12
Cuoio, pelli, gomma	4 ÷ 6
Inerti	12

Processo di produzione

La produzione di RDF deriva da una serie di operazioni standardizzate consistenti in:

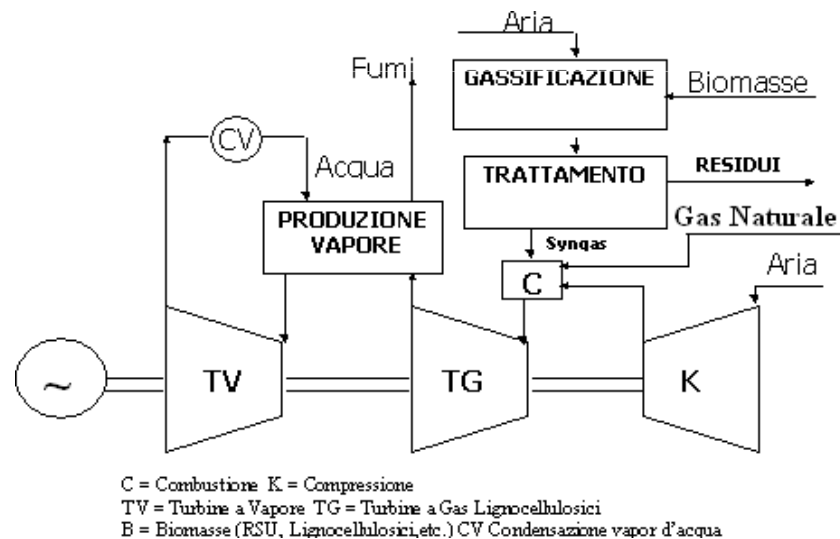
- *selezione* del RSU originario, finalizzata alla separazione delle componenti a maggior potere calorifico dalle componenti inerti;
- *riduzione* delle dimensioni con eventuale *compattazione* del prodotto, al fine di migliorare le caratteristiche di conservabilità, movimentazione e combustione.
- L'operazione di selezione dei rifiuti, dopo la sezione di caricamento e preparazione (apertura dei sacchi, eliminazione dei rifiuti ingombranti) viene condotta in due fasi:
 - *separazione primaria*, da cui si ottengono la frazione da destinare alla produzione del compost e la frazione combustibile da destinare alla produzione di RDF (20 ÷ 40% del rifiuto originario); viene condotta tramite un vaglio rotante in cui la frazione organica viene ottenuta tramite sottovaglio. Entrambe le correnti in uscita dalla separazione primaria passano attraverso un separatore magnetico per il recupero del ferro;
 - *separazione secondaria*, consiste in una ulteriore separazione degli inerti ancora presenti nella corrente proveniente dal sovravaglio della separazione primaria. È basata sulla minore densità della carta e della plastica rispetto ai materiali inerti presenti (vetro, metalli, etc.). La separazione secondaria viene in genere eseguita tramite classificatori aerodinamici, balistici o idraulici.

Dopo la separazione secondaria del CDR si ha una sezione di macinazione, una eventuale fase di essiccamento e la densificazione del materiale; operazioni necessarie per migliorare le caratteristiche di conservabilità, movimentazione e combustione del CDR.

Gassificazione

La gassificazione è un processo termodinamico che si svolge in ambiente povero di ossigeno in modo da consentire una parziale ossidazione del rifiuto solido, dando luogo ad un gas combustibile composto essenzialmente da monossido di carbonio (CO) e idrogeno (H₂), detto gas di sintesi, avente basso potere calorifico, $1000 \div 1500 \text{ kcal/Nm}^3$, utilizzabile in un bruciatore, in un motore endotermico e se adeguatamente depurato in turbina. Il risultato di questa operazione è il trasferimento del contenuto energetico della sostanza solida di partenza, nel PCI di un combustibile in fase gassosa, di più facile, più ampio, e più flessibile impiego. La gassificazione può essere condotta sia sul rifiuto tal quale, sia sul RDF. In questi processi, realizzati mediante reattori a pozzo, a tamburo rotante e a letto fluido, i rifiuti dopo essere stati essiccati e degassificati, entrano in una zona di gassificazione a temperatura elevata ($700 \div 1000 \text{ }^\circ\text{C}$). Qui il materiale da trattare gassifica mediante aggiunta di aria, ossigeno o vapore, ed eventualmente passa ad una zona di raffreddamento. Il calore necessario alla reazione viene introdotto direttamente dalla combustione di una parte del materiale trattato: i gas di combustione, condotti in controcorrente, cedono il loro calore sensibile ai rifiuti in ingresso.

Schema impianto di gassificazione



Se il riscaldamento avviene in modo indiretto, attraverso immissione di calore, non derivato necessariamente dai rifiuti, il processo si definisce di *pirolisi*; utilizzando questo calore si possono distillare le sostanze presenti nella materia organica da trattare.

Grattacielo fotovoltaico



Ancora sulla carta, il grattacielo fotovoltaico che sorgerà a Milano è alto 161 metri e guarderà al sole come fonte rinnovabile per ottenere il massimo risparmio energetico e garantire un profilo di massima sostenibilità ambientale. Il progetto prevede una facciata fotovoltaica, costituita da 450 moduli e completamente integrata nella torre del nuovo edificio, che provvederà in parte al fabbisogno energetico dell'intero complesso, insieme ad altre fonti alternative come pompe di calore e generatori ad idrogeno. La facciata fotovoltaica avrà una potenza totale di circa 160 KWp per una produzione annua di energia stimata intorno ai 135.000 kWh e un risparmio di anidride carbonica pari a circa 94 tonnellate per anno.

Il generatore fotovoltaico sarà integrato nelle due facciate della torre centrale esposte verso sud e sud ovest ed occuperà oltre 100 metri di altezza a partire dalla quota di 40 metri.

V rapporto di Greenpeace e EPIA

Il quinto rapporto di Greenpeace e EPIA (European Photovoltaic Industry Association), Solar Generation V, del 2008, prevede energia pulita dal sole entro il 2030 per 4 miliardi di persone, di cui quasi 3 miliardi attualmente non raggiunte da una rete elettrica. Grazie. Infatti il mercato fotovoltaico sta esplodendo, dice il rapporto di Greenpeace, basti vedere come, alla fine del 2007, la potenza installata degli impianti fotovoltaici abbia superato i 9200 MW, contro gli appena 1200 MW della fine del 2000. Inoltre si stanno intensificando i programmi, sia nazionali che locali, di supporto a questo mercato, visto che il fotovoltaico si basa sull'inesauribilità della radiazione solare e sulla possibilità di portare elettricità in luoghi ancora non connessi ad una rete. Paese leader nel FV è la Germania, che nel 2007 ha coperto il 42% della potenza fotovoltaica totale installata nel mondo, seguita da Giappone (38%), Stati Uniti (9%), e Italia (1%), che chiude la classifica dei cinque maggiori produttori di energia solare nel mondo.

Idrogeno

DISPENSE DEL CORSO DI “SISTEMI ENERGETICI E QUALITÀ DELL’AMBIENTE”, PROF. MAURIZIO CARLINI

Comunemente si pensa all'idrogeno come ad una fonte di energia, in realtà ciò non è esatto in quanto deve essere estratto dall' acqua (elettrolisi) o da combustibili fossili (vari processi termochimici) ciò comporta un consumo di energia, per questo è meglio definirlo un "vettore", un "accumulatore" o un "memorizzatore" di energia, potenzialmente può diventare uno dei migliori sistemi per il recupero di energia elettrica. Le migliori fonti di energia pulita sono quelle rinnovabili, però hanno l'inconveniente di essere discontinue: a volte non c'è vento, fiumi con portata non ottimale, sole coperto, a volte invece di queste fonti ve ne sono in eccesso, sfruttando le caratteristiche di "memorizzatore di energia" dell' idrogeno si potrebbero rendere le fonti rinnovabili pienamente sfruttabili, non solo per ottenere energia: l'idrogeno in eccesso potrebbe essere usato per ottenere prodotti chimici e/o industriali come ammoniaca (oggi si ottiene da idrogeno petrolifero soprattutto per produrre fertilizzanti), metanolo (oggi si ottiene da petrolio) ecc. ottenendo così un risparmio/non utilizzo di combustibili fossili (fonte esauribile ed inquinante nell'utilizzo). Quindi l'idrogeno permettendo il recupero di energia altrimenti dispersa o non utilizzabile può essere considerato una vera e propria fonte di energia primaria e rinnovabile come tutti i sistemi che permettono il recupero e il risparmio energetico. L' idrogeno ha un valore commerciale minimo di $0,8 \text{ €/Nm}^3$ (basso grado di purezza ed elevate quantità di acquisto) e un costo massimo di $3,6 \text{ €/Nm}^3$ (puro al 99,9999 % e quantità minima di acquisto). In particolari condizioni usando le appropriate sinergie potrebbe avere un costo paragonabile al metano.

Attuale applicazione delle tecnologie ad idrogeno

La produzione mondiale annua di idrogeno è di 500 miliardi di Nm^3 , equivalenti a 44 milioni di tonnellate, ottenuti per il 90% dal processo chimico di reforming degli idrocarburi leggeri (principalmente il metano) o dal cracking di idrocarburi più pesanti (petrolio) e per il 7% dalla gassificazione del carbone. Solo il 3% dell'attuale produzione è ottenuta per elettrolisi. L' idrogeno prodotto è impiegato per il 95% nell'industria chimica, che con esso produce ammoniaca, alcool metilico (metanolo) e prodotti petroliferi; il 5% è invece utilizzato dall'industria metallurgica per il trattamento dei metalli. Ad oggi non sono ancora stati adottati sistemi sostenibili di produzione , accumulo e distribuzione dell'idrogeno anche se le tecnologie lo permetterebbero.

Sono a buon punto varie tecnologie di produzione di fuel-cells (celle a combustibile o pile a combustibile), sono ormai molti e a buon punto anche i prototipi di veicoli a idrogeno;vari studi si stanno effettuando anche sulla fusione nucleare. Rispetto a una pila classica che "esaurisce" i reattivi elettrochimici che generano la corrente, una pila a combustibile è un generatore di elettricità (e, secondariamente di calore) che sfrutta la reazione tra l'idrogeno costantemente rinnovato (come combustibile) e l'ossigeno dell'aria (come comburente) per produrre acqua liberando elettroni.

La grande ambizione della fusione è riprodurre in maniera controllata il gigantesco processo di produzione di energia che avviene nell'universo stellare attraverso la fusione di nuclei di idrogeno in nuclei più pesanti di elio. Da quasi quattro decenni l'Europa ha avviato un vasto sforzo di ricerca su questa energia del futuro che eliminerebbe in modo radicale l'ipoteca rappresentata dall'esaurimento progressivo delle risorse fossili, senza produrre emissioni inquinanti o residui radioattivi. Attualmente la fusione è oggetto di una vasta cooperazione mondiale (ITER) intesa a realizzare a termine un primo reattore sperimentale.

Le potenzialità dell'idrogeno in Italia

Secondo uno studio condotto dal Gruppo di Ricerca Energia e Ambiente del CIRPS - Università di Roma "La Sapienza", con il supporto di BMW Group Italia, l'Italia ha grandi risorse in termini di energie rinnovabili (irraggiamento solare, flusso delle acque, vento, biomasse); il potenziale globale è stimabile in quasi 550.000 GWh/anno di energia elettrica producibile (basti pensare che attualmente il consumo totale italiano di elettricità è complessivamente di 305.400 GWh/anno), con una potenza installabile di poco più di 200.000 MW (attualmente la potenza installata in Italia è inferiore ai 170.000 MW). Grazie a questo enorme potenziale di fonti rinnovabili è possibile produrre idrogeno in modo totalmente eco-compatibile, passando attraverso la generazione di energia elettrica ed il processo di elettrolisi (scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno grazie all'elettricità), oppure attraverso i processi di termolisi (scissione diretta dell'acqua in idrogeno e ossigeno nelle giuste condizioni di temperatura e pressione) o bio/termochimici per l'estrazione dell'idrogeno dalle biomasse. Il potenziale di produzione di idrogeno da fonti rinnovabili in Italia è stimabile in 7.100.000 t/anno, così suddivise per singola fonte: 3.000.000 t/anno da irraggiamento solare; 280.000 t/anno da impianti mini e micro-idraulici a bassissimo impatto ambientale; 460.000 t/anno da energia eolica; 3.360.000 t/anno da biomasse (agricole, forestali, rifiuti).

Questo potenziale è stato messo in relazione con il possibile futuro mercato europeo di combustibile-idrogeno nel settore autotrasporti, valutando i seguenti scenari:

- Scenario A: 20% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno;
- Scenario B: 50% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno;
- Scenario C: 100% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno.

Nello scenario A, l'Italia può arrivare a fornire il 93% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato italiano).

Nello scenario B, l'Italia può arrivare a fornire il 40% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato italiano). Nello scenario C, l'Italia può arrivare a fornire il 20% del mercato europeo con la propria produzione di idrogeno da rinnovabili (100% del mercato interno). Dalla de-industrializzazione alla re-industrializzazione ambientale: questa è l'opportunità offerta dal futuro mercato dell'idrogeno, legato a tecnologie ormai "dimstrate", praticamente mature ma che richiedono un completamento dell'attività di sviluppo e l'avvio della fase di industrializzazione per l'intero sistema. La possibilità non è soltanto quella di creare nuovi posti di lavoro, quindi, ma di creare posti di lavoro da attività industriale, che pongono le base per solide premesse di sviluppo. Per giunta, si tratta di attività industriale ambientale, perfettamente in linea con la nuova richiesta sociale di Sviluppo Sostenibile. Le sole attività di ricerca e sviluppo e di produzione dell'idrogeno da fonti rinnovabili (irraggiamento solare, flusso delle acque, vento, biomasse) con le tecnologie immediatamente applicabili possono creare in Italia oltre 70.000 nuovi posti di lavoro così suddivisi: 70% nel Mezzogiorno (isole maggiori comprese), 30% nel nord Italia. Lo sviluppo delle infrastrutture e dei sistemi di stoccaggio, trasporto e distribuzione può creare ulteriori 30.000 posti di lavoro che allo stato attuale di diffusione delle imprese e delle conoscenze sarebbero così suddivisi: 60% al nord, 40% al sud e isole maggiori. Le attività legate alla ricerca e sviluppo ed all'avvio della produzione, dello stoccaggio e della distribuzione dell'idrogeno da fonti rinnovabili offrono quindi lo scenario a breve termine (nel periodo di tre anni) di oltre 100.000 nuovi posti di lavoro, calcolati utilizzando gli stessi parametri occupazionali presenti nel Libro Bianco dell'Unione Europea, con un'interessantissima prevalenza al sud. Il livello di specializzazione richiesto, il contenuto tecnologico e le necessità di formazione continua caratterizzano l'elevata "qualità" di questo potenziale.

Produzione di idrogeno

La produzione mondiale annua di idrogeno è di 500 miliardi di Nm³, equivalenti a 44 milioni di tonnellate, ottenuti per il 60% dal processo chimico di reforming degli idrocarburi leggeri, principalmente il metano, per il 30% dal cracking di idrocarburi più pesanti (petrolio) e per il 7% dalla gassificazione del carbone. Solo il 3% dell'attuale produzione è ottenuta per elettrolisi. L'idrogeno prodotto è impiegato per il 95% nell'industria chimica, che con esso produce ammoniaca, alcool metilico (metanolo) e prodotti petroliferi; il 5% è invece utilizzato dall'industria metallurgica per il trattamento dei metalli.

Steam reforming del metano

Lo steam reforming (trasformazione con vapore) si effettua, partendo da gas metano o da frazioni leggere di petrolio, con vapore d'acqua in presenza di un catalizzatore (generalmente nichel) alla temperatura di 800 °C. Il gas risultante contiene anche monossido di carbonio che, reagendo con il vapore, si trasforma in biossido di carbonio (anidride carbonica). Lo steam reforming del metano è un processo ben sviluppato ed altamente commercializzato e attraverso il quale si produce circa il 48% dell'idrogeno mondiale. Tale metodo può essere applicato anche ad altri idrocarburi come l'etano. Non possono essere utilizzati idrocarburi più pesanti perché essi potrebbero contenere impurità. Altri processi, invece, come l'ossidazione parziale, sono più efficienti con idrocarburi più pesanti (Padrò e Putsche, 1999). Lo SMR implica la reazione di metano e vapore in presenza di catalizzatori.

Tale processo, su scala industriale, richiede una temperatura operativa di circa 800 °C ed una pressione di 2,5 MPa. La prima fase consiste nella decomposizione del metano in idrogeno e monossido di carbonio. Nella seconda fase, chiamata "shift reaction", il monossido di carbonio e l'acqua si trasformano in biossido di carbonio ed idrogeno (National Renewable Energy Laboratory, 1995). Il contenuto energetico dell'idrogeno prodotto è, attualmente, più elevato di quello del metano utilizzato ma l'enorme quantità d'energia richiesta per il funzionamento degli impianti fa scendere il rendimento del processo a circa 65% (Morgan e Sissine, 1995). Tramite assorbimento o separazione con membrane, il biossido di carbonio è separato dalla miscela di gas, la quale viene ulteriormente purificata per rimuovere altri componenti. Il gas rimanente, formato per circa il 60% da parti combustibili, è utilizzato per alimentare il reformer (Zittel e Wurster, 1996). I processi di questo tipo su scala industriale avvengono alla temperatura di 200 °C o superiore, e richiedono l'impiego di calore per dare avvio al processo. Il costo del gas naturale incide fortemente sul prezzo finale dell'idrogeno, secondo alcune analisi costituisce il 52%-68% del costo totale per impianti di grosse dimensioni, e circa del 40% per impianti di dimensioni minori (Padrò e Putsche, 1999). I costi dello SMR sono notevolmente inferiori a quelli dell'elettrolisi e competitivi con quelli delle altre tecnologie, esso comporta inoltre un ridottissimo impatto ambientale. Alcuni autori, sostengono che la tecnologia SMR può essere conveniente, se combinata con l'alimentazione di veicoli, per l'applicazione su celle a combustibile prodotte su scala ridotta. La tecnologia SMR inoltre, è stata ampiamente sperimentata nella produzione combinata di idrogeno, vapore ed energia elettrica tramite un sistema integrato di produzione. Dopo le prime installazioni negli Stati Uniti d'America ad opera di compagnie come la Mobil, la Texaco, la Air Products e centrali di grosse dimensioni come quelle sulla costa occidentale, questi impianti si stanno diffondendo anche in Europa, uno tra i più importanti è situato a Pernis, vicino Rotterdam. Il funzionamento principale di tali sistemi è quello descritto in precedenza con la particolarità che il calore prodotto grazie alle alte temperature operative, viene opportunamente recuperato ed impiegato nelle fasi di preriscaldamento e desulfurizzazione del metano, riscaldamento dell'acqua e generazione di vapore. L'idrogeno prodotto è impiegato direttamente per la produzione di energia elettrica che verrà poi erogata dall'impianto stesso. Tali sistemi integrati presentano numerosi vantaggi rispetto al caso di impianti separati per la produzione di idrogeno, vapore ed energia elettrica. Innanzitutto, consentono di realizzare risparmi già al livello di progettazione in quanto un unico progetto coinvolge tre strutture, successivamente proprio l'integrazione consente di risparmiare fino al 50% dei costi operativi e di ridurre notevolmente l'incidenza dei costi fissi all'aumentare della produzione; basta considerare il fatto che gli investimenti iniziali costituiscono il 60% dei costi per la costruzione di un impianto isolato per la produzione di energia. Un altro aspetto fondamentale riguarda l'impatto ambientale ridottissimo di tutta la tecnologia che comporta una riduzione del 50% delle emissioni di NO_x mentre il CO prodotto dalle turbine a gas viene bruciato all'interno del reforming stesso. In futuro, il funzionamento continuo ed il perfezionamento di questi impianti consentirà inoltre di migliorarne l'efficienza e l'affidabilità. Gli impianti attualmente funzionanti, si limitano alla fornitura di energia elettrica ad industrie del settore chimico e petrolchimico con delle piccole reti di trasmissione ma si prevede che nei prossimi decenni possano svilupparsi e sostituire gradualmente le attuali centrali (Terrible et al., 1999).

Gassificazione del carbone

L'idrogeno si produce facendo reagire a 900 °C il vapor d'acqua con carbone coke e poi, a 500 °C, con un catalizzatore a base di ossidi di ferro; il gas risultante, formato da idrogeno e monossido di carbonio, era un tempo utilizzato come gas di città. In generale, il processo di gassificazione consiste nella parziale ossidazione, non catalitica, di una sostanza solida, liquida o gassosa che ha l'obiettivo finale di produrre un combustibile gassoso, formato principalmente da idrogeno, ossido di carbonio e da idrocarburi leggeri come il metano (Chiacchierini, 1992). Tramite la gassificazione il carbone viene convertito, parzialmente o completamente, in combustibili gassosi i quali, dopo essere stati purificati vengono utilizzati come combustibili, materiali grezzi per processi chimici o per la produzione dei fertilizzanti. La produzione di idrogeno mediante gassificazione del carbone è una tecnologia che trova numerose applicazioni commerciali, ma è competitiva con la tecnologia SMR solo dove il costo del gas naturale è molto elevato (per esempio: Repubblica Popolare di Cina e Sud Africa). Nel settembre del 2000 è stato siglato dall'ENEA e dal Ministero della Scienza e della Tecnologia (MOST) della Repubblica Popolare di Cina, un Accordo Tecnico di collaborazione tecnico-scientifica per lo sviluppo congiunto della ricerca sull'idrogeno, a seguito degli accordi stipulati dai due organismi lo scorso mese di giugno a Pechino. Come ben noto, nella Repubblica Popolare di Cina, i problemi associati all'inquinamento atmosferico all'interno delle città e, più in generale, l'ingente quantità di emissioni di CO₂ legato all'uso massiccio del carbone, sono estremamente gravi ed urgenti. Si prevede infatti che nel 2020 la Repubblica Popolare di Cina brucerà ben tre miliardi e mezzo di tonnellate di carbone all'anno, contribuendo a più di un quarto delle emissioni planetarie di anidride carbonica. Nel programma di cooperazione con l'ENEA, il carbone, in presenza di acqua, è trasformato in idrogeno e CO₂. L'idrogeno è poi bruciato con emissioni zero, mentre la CO₂ è "sequestrata" permanentemente in forma liquida nelle profondità della terra, senza apprezzabili emissioni nell'atmosfera. E' quindi possibile trasformare anche il carbone in un combustibile pulito e quasi ad "emissioni zero". Per quanto riguarda la gassificazione, vengono utilizzati principalmente tre metodi: fixed-bed (letto fisso), fluidized-bed (letto fluidificato) e entrained-bed (letto trascinato) (Padrò e Putsche, 1999). Tutti questi metodi impiegano vapore, ossigeno o aria, per ossidare parzialmente il carbone ed ottenere come risultato del gas. I gassificatori a letto fisso producono, a basse temperature (425-650 °C), un gas contenente prodotti "devolatilizzati" come metano, etano ed un flusso di idrocarburi liquidi contenente nafta, catrame, oli e fenolici. I gassificatori a letto trascinato producono gas ad alta temperatura (>1260 °C), che essenzialmente elimina i prodotti devolatilizzati dal flusso di gas e dagli idrocarburi liquidi. Questo metodo, infatti, consente di ottenere un prodotto composto quasi interamente da idrogeno, monossido di carbonio e biossido di carbonio. I gassificatori a letto fluidificato, infine, producono pressappoco dei prodotti intermedi, nella composizione, rispetto ai due precedenti ed agiscono a temperature medie (925-1040 °C). Il calore necessario per la gassificazione è fornito principalmente dall'ossidazione parziale del carbone. Generalmente le reazioni di gassificazione del carbone sono esotermiche, così al gassificatore vengono di solito abbinate delle caldaie per il riscaldamento dei rifiuti da smaltire. La temperatura, e quindi la composizione del gas prodotto, dipendono dalla quantità dell'agente ossidante e del vapore, nonché dal tipo di reattore utilizzato nell'impianto di gassificazione. I gassificatori producono delle sostanze inquinanti (principalmente ceneri, ossidi di zolfo e ossidi di azoto) che devono essere eliminate prima che entrino a far parte del gas prodotto. Il loro livello dipende sia dal gassificatore utilizzato sia dalla composizione del combustibile.

Esistono due tipi di sistemi per la separazione delle impurità: sistemi a caldo e sistemi a freddo. La tecnologia di separazione a freddo è sfruttata commercialmente e sperimentata da diversi anni mentre i sistemi a caldo sono ancora in fase di sviluppo. La ripulitura dei gassificatori a letto trascinato, comporta una serie di operazioni in base alla diversa natura dei residui con una perdita di efficienza, affidabilità ed un aumento rilevante dei costi di questi sistemi. Per questa tecnologia, il costo della materia impiegata raggiunge quasi il 25% del prezzo dell'idrogeno prodotto. Costo del capitale, manutenzione dell'impianto e smaltimento dei rifiuti solidi, costituiscono altri costi da sostenere. Rispetto alle altre tecnologie quindi, sempre escludendo l'elettrolisi, i costi sono leggermente più elevati ed, allo stato attuale, non è ancora possibile realizzare delle particolari economie di scala. La presenza di numerose riserve in diverse parti del mondo (vedi capitolo 1), fa del carbone il possibile sostituto di gas naturale ed oli come materia prima per la produzione di idrogeno (Padrò e Putsche, 1999).

Cracking

Consiste nella rottura della molecola del metano mediante sistemi termici. Produce carbone e non CO. Non è tra i sistemi più efficienti. Il tradizionale processo di cracking dei combustibili fossili sta subendo delle notevoli innovazioni. Le nuove tecnologie di decomposizione termocatalitica degli idrocarburi, in assenza di aria o ossigeno, eviteranno di sostenere costi per la purificazione dell'idrogeno prodotto tramite l'eliminazione della produzione degli ossidi di carbonio. Ciò avverrà tramite l'identificazione e la modificazione di opportuni catalizzatori a base di carbonio e la successiva ottimizzazione del processo di produzione tramite l'impiego di combustibili liquidi o gassosi. L'obiettivo primario è, inizialmente, quello di aumentare il contenuto di idrogeno a più dell'85% e di ridurre notevolmente le emissioni di gas inquinanti. Nel 2003 si prevede la sperimentazione dei primi impianti abbinati a celle a combustibile di modesta potenza.

Ossidazione parziale

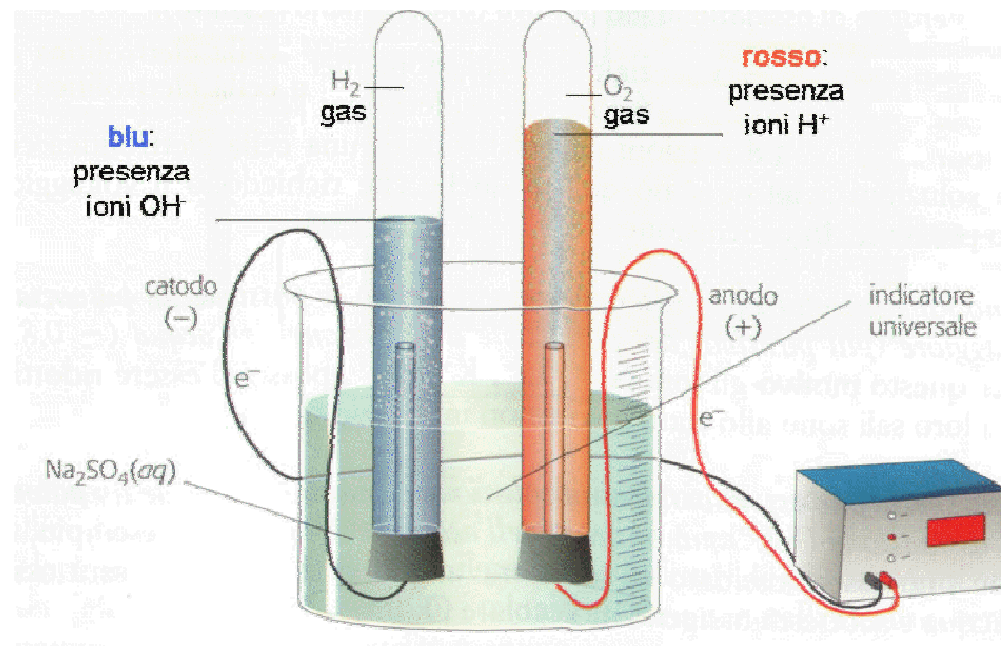
Permette di ottenere idrogeno da idrocarburi pesanti come la nafta, è poco efficiente ed è necessario usare ossigeno puro. L'idrogeno può essere ottenuto dall'ossidazione parziale non catalitica, ad una temperatura che varia tra 1300-1500° C, di idrocarburi pesanti, come la nafta. Questa tecnologia può utilizzare qualsiasi genere di idrocarburo che possa essere compresso. In ogni caso l'efficienza complessiva del processo (50%) è minore di quella ottenuta dalla tecnologia SMR (65%-75%) ed è necessario ossigeno puro. L'ossigeno necessario alla reazione, infatti, è quello contenuto nell'atmosfera per cui mescolato con una grande quantità di azoto. Dunque con l'ossidazione parziale si ottiene un flusso di idrogeno impuro fortemente contaminato dall'azoto. Nel caso si utilizzi del metano, l'efficienza di questo processo raggiunge solo il 70% di quella dello steam reforming. Tramite una reazione controllata tra combustibile e ossigeno, si ottiene anidride carbonica, ossigeno e molto calore. Un sistema rapido che consente però di ottenere modeste quantità d'idrogeno, tanto quanto ne contiene il combustibile di partenza. I reformer per l'ossidazione parziale utilizzano in genere solo combustibili liquidi. Attualmente solo due compagnie, la Texaco e la Shell, hanno la disponibilità, a livello commerciale, di queste tecnologie di conversione (Padrò e Putsche, 1999). I costi per la produzione di idrogeno tramite combustibili pesanti sono sensibilmente più alti, per stesse quantità di materia impiegata, di quelli relativi all'utilizzo di gas di cokeria.

Questo è dovuto alla necessità di sostenere il trattamento e la rimozione delle impurità derivanti dal processo. Nel caso dell'utilizzo di gas di cokeria è possibile, attualmente, realizzare economie di scala che si riflettono in una notevole riduzione del prezzo finale dell'idrogeno. Simili risultati sono attesi per l'impiego di combustibili pesanti. Anche se i costi di questa tecnologia non sono particolarmente elevati rispetto a quelli degli altri processi, bisogna anche considerare i costi aggiuntivi per l'eventuale pulizia degli impianti, a cui conseguirebbe un aumento del prezzo finale dell'idrogeno.

Elettrolisi dell'acqua

Attualmente è l'unico metodo per ottenere idrogeno (e ossigeno) dall'acqua, consiste nell'introdurre nell'acqua un anodo e un catodo e stabilire una differenza di potenziale affinché avvenga la separazione dell'idrogeno dall'ossigeno. Gli elettrolizzatori in commercio ottengono un metro cubo di idrogeno con 3,7 kWh di energia elettrica, è un metodo con una efficienza elevata e produce idrogeno con un alto grado di purezza. Attualmente per elettrolisi si producono circa 20 miliardi di metri cubi all'anno di idrogeno.

L'elettrolisi richiede il passaggio di corrente elettrica attraverso l'acqua. La corrente entra nella cella elettrolitica tramite il catodo, un elettrodo caricato negativamente, attraversa l'acqua e va via attraverso l'anodo, un elettrodo caricato positivamente. L'idrogeno e l'ossigeno così separati confluiscono rispettivamente verso il catodo e verso l'anodo.



L'elettrolisi è il metodo più comune per la produzione di idrogeno anche se incontra notevoli ostacoli per la quantità limitata di idrogeno prodotta e per i costi, ancora troppo elevati, dovuti all'impiego di energia elettrica. Attualmente, solo il 4% della produzione mondiale di idrogeno avviene per elettrolisi dell'acqua e solo per soddisfare richieste limitate di idrogeno estremamente puro. Per risolvere questo problema, si prevede l'applicazione dell'elettrolisi con vapore ad alta temperatura (900-1000 °C). L'alta temperatura del sistema accelera le reazioni, riduce le perdite d'energia dovute alla polarizzazione degli elettrodi ed accresce l'efficienza complessiva del sistema. Questa tecnologia offre l'opportunità di ridurre il consumo di elettricità al 35% di quella utilizzata dagli attuali elettrolizzatori in commercio. Questa notevole riduzione dei costi, e l'elevata efficienza di conversione stimata (circa il 90%), consentirebbe all'elettrolisi di essere competitiva anche con lo steam reforming, che richiede notevoli investimenti strutturali. In ogni caso, prima che le nuove tecnologie vengano perfezionate e divengano completamente operative, il costo per la produzione dell'idrogeno dall'elettrolisi è il più alto rispetto a qualsiasi altra tecnologia. I costi maggiori sono rappresentati dai sistemi fotovoltaici ed eolici i quali, nonostante i miglioramenti tecnologici previsti per i prossimi anni, richiedono e richiederanno ancora costi elevatissimi per la produzione di energia da impiegare nell'elettrolisi. Un altro aspetto da valutare è che l'idrogeno attualmente viene prodotto in sito e su domanda, vengono quindi trascurati i costi di magazzinaggio e trasporto che renderebbero il prezzo dell'idrogeno "consegnato", anche se in quantità ridotte, ancor meno competitivo. Nell'ambito delle applicazioni pratiche i costi per l'elettrolisi tramite celle a membrana polimerica si prevede che siano minori dei sistemi con celle alcaline.

Gassificazione secca di biomasse

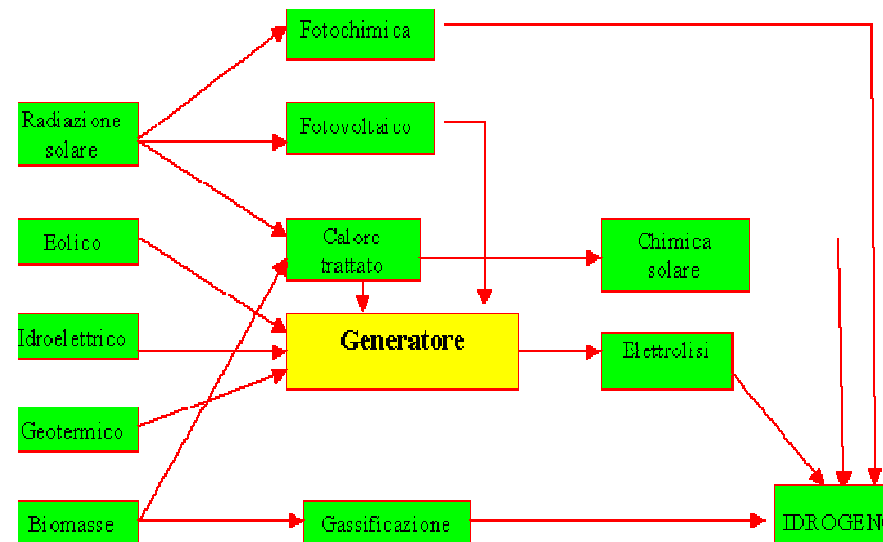
Come la gassificazione, anche la pirolisi, o distillazione secca, è un processo che per mezzo della decomposizione termica, spezza le molecole complesse delle sostanze organiche in elementi semplici, separati. Essa consiste nel riscaldare la sostanza a 900-1000 °C, in assenza di aria, in opportuni impianti, con ottenimento di sostanze volatili e di un residuo solido. L'applicazione di calore alle biomasse (legno, grassi e rifiuti agricoli) produce numerosi differenti gas, tra cui l'idrogeno. La composizione dei gas dipende dal tipo di materiale, dalla presenza di ossigeno, dalla temperatura della reazione e da altri parametri. La ricerca sull'idrogeno è incentrata attualmente sui gas dalle biomasse, a medio potere calorifico, da utilizzare principalmente come combustibili. La gassificazione delle biomasse, prevede l'impiego sia di materiale derivato dai rifiuti solidi urbani sia materiali specifici appositamente coltivati per essere impiegati come fonte d'energia. Le biomasse possono essere gassificate utilizzando metodi indiretti e diretti. La gassificazione indiretta, come avviene negli impianti della Battelle-Columbus Laboratories and Future Energy Resource Corporation (BLC/FERCO), usa un veicolo, come la sabbia, per trasferire calore dal bruciatore alla camera di gassificazione. Nella gassificazione diretta il calore alla camera di gassificazione è fornito dalla combustione di una parte delle biomasse. In generale, il costo dell'idrogeno prodotto tramite gassificazione indiretta è leggermente minore di quello dell'idrogeno ottenuto per gassificazione diretta.

Un metodo alternativo di produzione dell'idrogeno dalle biomasse è la combinazione di pirolisi e processo di steam reforming. Tale metodo, applicato alle biomasse, genera vapori reattivi che possono, quindi, essere convertiti in idrogeno, monossido di carbonio e biossido di carbonio usando vapore in ambiente catalitico. Tramite questo processo le biomasse vengono decomposte termicamente ad alte temperature (400-450 °C), in atmosfera inerte, per formare un "bio-olio" costituito da sostanze organiche ossigenate, per l'85%, e acqua, per il 15% . Il "bio-olio", quindi, viene sottoposto al processo usuale di steam reforming per la produzione di idrogeno. Alternativamente i componenti fenolici del "bio-olio" possono essere estratti con etil-acetato per ottenere come prodotto aggiuntivo delle resine fenoliche. Anche in questo caso i restanti componenti possono essere sottoposti allo steam reforming. In entrambi i casi il gas prodotto viene purificato tramite un processo standard di assorbimento a pressione variabile. Anche i deflussi derivanti da altre tecnologie di trattamento delle biomasse possono costituire un interessante materiale per la produzione dell'idrogeno. In particolare, sono stati compiuti degli studi sul trattamento dei residui della separazione del "bio-olio" in derivati della lignina, utilizzati per la produzione di resine fenoliche o additivi per combustibili, e derivati dei carboidrati, eventualmente sottoposti allo steam reforming. Questo sistema ha numerosi vantaggi rispetto alla tradizionale tecnologia di gassificazione delle biomasse, innanzitutto il "bio-olio" può essere trasportato più facilmente delle biomasse e quindi la pirolisi ed il reforming possono essere realizzati in luoghi diversi, con eventuale riduzione dei costi. Per esempio una serie di pirolisi di piccole quantità di materiali, può avvenire dove essi sono disponibili ad un costo non elevato. Successivamente, l'olio può essere agevolmente trasportato in un impianto di reforming, situato dove siano presenti impianti d'immagazzinaggio ed infrastrutture per la distribuzione. Il secondo vantaggio è, ovviamente, il notevole potenziale derivante dal recupero dei materiali derivati. Questo è stato dimostrato con l'utilizzo di un reattore a letto fluidificato, con del nichel come catalizzatore, sviluppato per il trattamento di gas naturale e nafta, con cui è stato possibile ottenere sostanze composte il cui contenuto di idrogeno approssima o supera il 90% . Questo processo potenzialmente può divenire una delle tecnologie di produzione meno costose, ma è ancora ai primi stadi della ricerca. I ricercatori sono impegnati nella ricerca di un catalizzatore ottimale per la fase di reforming ed alla valutazione della fattibilità economica e della sostenibilità ambientale dell'intero processo. La produzione dell'idrogeno dalle biomasse, sia tramite gassificazione sia tramite pirolisi, possiede notevoli possibilità di sviluppo tra i processi che utilizzano fonti rinnovabili di energia. Un importante vantaggio ambientale dell'utilizzo delle biomasse come fonte di idrogeno è che il biossido di carbonio, una delle principali emissioni responsabili dei cambiamenti climatici, emesso nella conversione delle biomasse, non contribuisce ad aumentare la quantità totale di gas nell'atmosfera. Il biossido di carbonio è consumato dalle biomasse durante la crescita e solo la stessa quantità viene restituita all'aria durante il processo di conversione. Purtroppo, però, il contenuto d'idrogeno è solo del 6%-6,5%, rispetto al 25% del gas naturale. Per questa ragione i costi sono ancora molto elevati e ciò non consente a questi sistemi di essere competitivi con altre tecnologie come, per esempio, il reforming del metano. Di gran lunga, i maggiori costi operativi per questa tecnologia sono legati alla materia da impiegare e quindi sono particolarmente alti per processi che utilizzano biomasse costituite da materiali specifici mentre possono scendere nel caso si impieghino biomasse da rifiuti. Anche in questo caso, come per i sistemi fotovoltaici ed eolici, trattandosi di fonti di energia rinnovabili, i costi sono ancora sensibilmente elevati. In questi casi, infatti, le tecnologie non sono ancora perfezionate, mancano dei sistemi specifici d'immagazzinaggio e applicazione dell'energia prodotta per cui non è ancora possibile realizzare economie di scala che ne consentano un possibile largo impiego.

D'altro canto il ridotto impatto ambientale, riveste un importante ruolo per la ricerca. Inoltre, gli oli vegetali hanno un potenziale per la produzione di idrogeno, maggiore delle sostanze che contengono cellulosa o lignina, ma il loro costo è ancora notevolmente alto e probabilmente gli oli necessari saranno acquistati su di uno specifico mercato previsto per il futuro. Quindi, solo un processo integrato, che preveda il riutilizzo delle sostanze derivate dalle biomasse, può consentire una alternativa economicamente valida. Affinché le biomasse diventino una fonte di idrogeno con costi accessibili, la ricerca deve ancora compiere notevoli passi. Le tecniche per la separazione e la purificazione dell'idrogeno tramite delle membrane selettive o processi catalitici, devono essere migliorate. Nuove idee per la purificazione dei gas (rimozione di catrame ed oli) necessitano una migliore valutazione. Una delle principali priorità della ricerca è un concetto avanzato di gassificazione catalitica che consenta di ottenere risultati quando il gassificatore agisce continuamente mentre altri settori della ricerca si stanno occupando della messa a punto di un nuovo sistema di gassificazione. Esso, agendo ad elevate temperature e con particolari catalizzatori al carbonio, consente la produzione di idrogeno da materiali con un alto contenuto di umidità. Le biomasse, infatti contengono circa il 50% d'acqua e sono stati messi a punto diversi processi termici per eliminarla. Questo nuovo processo di gassificazione invece, eliminando il ricorso a strumenti di essiccazione non pone particolari limiti al tipo di biomassa da impiegare. Inoltre, ottenendo il reforming completo delle biomasse impiegate dal processo non si hanno residui di combustione. I primi reattori di questo genere sono stati costruiti recentemente mentre l'intera tecnologia deve essere ancora testata e verificata nei prossimi anni.

Sistemi e progetti sperimentali per la produzione di idrogeno

Tutte le fonti primarie di energia rinnovabili permettono di ottenere idrogeno, seguendo percorsi simili o alternativi, in generale la maggiore convenienza si ha laddove il percorso ha meno passaggi.



Sistemi di accumulo di idrogeno

Le difficoltà di accumulo sono tra i principali ostacoli alla diffusione di sistemi basati sulle tecnologie ad idrogeno, per contro esistono molte possibili tecniche o anche strategie adottabili, purtroppo non è incentivata la ricerca e lo sviluppo di questi sistemi (al pari delle tecniche per la produzione), soprattutto la mancanza di ricerca sta rallentando lo sviluppo delle filiere utili al concreto sviluppo di tale vettore energetico, nonostante le buone intenzioni che a parole si dichiarano frequentemente negli ambienti politici, di fatto i fondi rimangono marginali e comunque insufficienti al conseguimento di uno standard applicativo utile ad iniziare la diffusione commerciale di veicoli ad idrogeno o comunque a celle a combustibile.

A livello teorico esistono una decina di sistemi di accumulo, alcuni prevedono lo stoccaggio di idrogeno puro, altri prevedono di abbinare le molecole H_2 con altri elementi chimici dai quali essere ricavato all'occorrenza, altri sistemi ancora prevedono di abbinare H_2 con carbonio o con biossido di carbonio e di utilizzare tali miscele come carburante. Non necessariamente si dovrà adottare uno solo tra questi sistemi, più verosimilmente alcuni tra i vari sistemi potrebbero essere adatti ad uno o a più particolari utilizzi.

Gas compresso

E' il sistema più semplice e più utilizzato, problema principale è il grande volume che richiede questo metodo di accumulo, circa tre volte quello del metano che è già di per se molto voluminoso, a confronto della benzina l'idrogeno compresso occupa 10 volte più spazio. L'idrogeno può essere compresso tramite compressori a pistoncini assiali, radiali o alternati. Questi ultimi possono avere potenza fino a 11.200 kW e trattare flussi di idrogeno di 890 kg/h a più di 25 MPa di pressione. I compressori assiali e radiali invece sono usati per flussi anche dieci volte maggiori. Uno dei vantaggi dei compressori assiali è che ne possono essere montati diversi su uno stesso albero ma il fatto che debbano essere installati meccanismi per la protezione dalle oscillazioni ne riduce l'efficienza al 50%. La compressione avviene in più fasi, a diverse pressioni, e può essere effettuata anche tramite l'impiego di idruri di metallo sfruttando la diversa pressione operativa delle fasi di idrogenazione e deidrogenazione. In genere essi vengono fatti agire in serie in modo che il calore rilasciato dall'uno venga utilizzato dal successivo, con un'azione a catena. Molti sistemi di compressione utilizzano meccanismi di espansione per recuperare parte dell'energia della fase di compressione mentre negli attuali processi di liquefazione essi hanno lo scopo di aumentare l'efficienza di raffreddamento dell'idrogeno. Per grossi flussi d'idrogeno vengono impiegati i cosiddetti "turboespansori" che se completamente operativi hanno efficienza dell'85% ma risultano molto meno efficienti con carichi inferiori. I meccanismi di espansione sono anche utilizzati per modificare la pressione dell'idrogeno in base alla tecnologia di accumulo e all'applicazione finale. L'idrogeno può essere immagazzinato, come gas compresso, all'aperto, sotto terra e a bordo di veicoli. Questa tecnologia di accumulo è la più semplice in quanto le uniche attrezzature necessarie sono un compressore ed un contenitore pressurizzato. L'idrogeno viene compresso a circa 20,7 MPa ed immagazzinato in cilindri per il gas, a pressione standard, o in contenitori sferici per quantità superiori a 15.000 Nm³. In generale l'accumulo sotto forma di gas compresso, in tubi ad alta pressione, è generalmente limitato a sistemi inferiori ai 14.000 Nm³ o ancora minori, a causa del loro costo elevato.

I costi stimati di questa tecnologia, nel caso di accumulo all'aperto, sono molto elevati per l'accumulo giornaliero con l'utilizzo di tubi pressurizzati rispetto al caso dell'utilizzo di contenitori; essi inoltre dipendono fortemente dal tasso di rotazione delle scorte. L'accumulo dell'idrogeno in impianti sotterranei, invece, è conveniente per il trattamento di grossi quantitativi o per lunghi periodi. Attualmente esistono numerosi impianti d'accumulo sotterraneo. La città di Kiel, in Germania, utilizza questo tipo di strutture sin dall'anno 1971, per l'accumulo del gas di città, costituito per il 60%-65% da idrogeno. La società nazionale per il gas, francese, Gaz de France, ha immagazzinato prodotti gassosi di raffineria, ricchi di idrogeno, in strutture acquifere vicino Baynes, in Francia. La Imperial Chemical Industries immagazzina l'idrogeno in miniere saline vicino Teeside, Regno Unito. Questa metodologia è più o meno conveniente, in termini di costi, secondo che si sfruttino strutture preesistenti (miniere saline, pozzi di gas svuotati ecc.) o ne sia necessaria la loro creazione (pozzi artificiali ecc.). La maggior parte dei costi è rappresentata dal costo dell'energia impiegata per la compressione e dipendono, quindi, dalle quantità trattate e dal periodo di accumulo. Questa tecnologia di accumulo, ad una pressione di 20,7-55,2 MPa, è la meno costosa per il rifornimento di autoveicoli ma, purtroppo, ha una densità d'energia in rapporto al volume, molto bassa (13-3,4 MJ/l) se comparata a quella della benzina (32,4 MJ/l). Anche se quest'ultimo svantaggio può essere eliminato con l'aumento della pressione, non bisogna trascurare la questione della sicurezza. Sono stati sviluppati serbatoi con fibra rinforzata, composta (per esempio alluminio-carbone) ma il loro costo, attualmente ancora elevato, andrebbe a gravare ulteriormente sul costo complessivo di accumulo, rendendolo ancor meno conveniente se rapportato alla densità d'energia che comunque resta esigua. Attualmente gli sviluppi sui sistemi ad idrogeno compresso hanno portato ad ottenere serbatoi in fibra di carbonio che possono essere eserciti fino a pressioni di 700 bar, ciò permette di avere auto di media potenza con autonomie di 400-500 km, negli ultimi prototipi General Motors, Honda, Toyota, DaimlerChrysler, sono installati serbatoi simili, i test hanno dimostrato affidabilità e alcuni modelli hanno potuto essere omologati anche in Germania dove lo standard di sicurezza è tra i più elevati in assoluto. Anche quando tali serbatoi dovessero essere forati e quindi alimentare un incendio sono potenzialmente meno pericolosi dei serbatoi di benzina nella stessa situazione.

Idrogeno liquefatto

Anche questa tecnologia è ben nota e applicata, in questo caso il volume è minore rispetto al metano, solo che l' H_2 diventa liquido a -253°C, è intuibile l'energia persa per portarlo e mantenerlo a tali temperature, nonché varie difficoltà tecniche e conseguenti alti costi. I processi di liquefazione usano una combinazione di compressori, scambiatori di calore, motori di espansione e valvole a farfalla per ottenere il raffreddamento desiderato. Il processo di liquefazione più semplice è il ciclo *Linde* o ciclo di espansione *Joule-Thompson*. Tramite questo processo, il gas è compresso a pressione ambiente e quindi raffreddato in uno scambiatore di calore prima di passare attraverso una valvola in cui è sottoposto al processo di espansione *Joule-Thompson* producendo del liquido. Una volta rimosso il liquido il gas ritorna al compressore tramite lo scambiatore di calore. Il processo *Linde* opera con gas, come l'azoto, che si raffreddano per espansione a temperatura ambiente. L'idrogeno al contrario, in questa fase si riscalda e per evitare ciò la sua temperatura deve essere inferiore alla sua temperatura d'inversione di 202 K.

Per raggiungere tale temperatura alcuni processi raffreddano l'idrogeno con dell'azoto liquido pre-raffreddato che prima del passaggio nella valvola d'espansione, consente la riduzione della temperatura dell'idrogeno a 78 K. L'azoto viene quindi recuperato e riciclato nel ciclo continuo di refrigerazione. L'idrogeno può essere liquefatto per la produzione stazionaria di energia sia per il rifornimento di veicoli. Successivamente, nella maggior parte dei casi, viene immagazzinato ad una temperatura di -253 °C. L'unico inconveniente di questo sistema è l'eventuale fuoriuscita di parte dell'idrogeno liquido ed il notevole dispendio energetico dell'intero processo, infatti circa il 30% dell'energia dell'idrogeno è necessaria per il suo raffreddamento, inoltre sono necessarie particolari attrezzature per il mantenimento dello stato liquido. La maggior parte dei contenitori di idrogeno liquido hanno forma sferica perché quest'ultima ha la più bassa superficie per il trasferimento di calore per unità di volume. Inoltre, al crescere del diametro dei contenitori il volume aumenta più velocemente della superficie esterna per cui contenitori più grandi, in proporzione, provocano minori perdite per trasferimento di calore. I contenitori cilindrici, invece, sono preferibili per la loro facilità ed economicità di costruzione. Anche se sottoposto con cautela all'irraggiamento solare, una parte dell'idrogeno può evaporare ed essere destinata ad aumentare la pressione nel contenitore o riciclata nel processo di liquefazione oppure, in alcuni casi, semplicemente liberata. Il più grande sistema d'immagazzinaggio per l'idrogeno liquido, con una capacità di 3.800 m³, è posseduto, attualmente, dalla NASA. Riguardo questa tecnologia, il costo operativo maggiore è dovuto all'elettricità necessaria per la compressione per cui, attualmente, si stanno analizzando alcuni metodi per la riduzione della quantità di energia elettrica richiesta. Per quanto riguarda il rifornimento di veicoli, quello dell'idrogeno liquefatto potrebbe sembrare uno dei metodi più adatti. Sennonché bisogna considerare i notevoli rischi legati, solo per fare un esempio, alle perdite di carburante o ai problemi di sicurezza dovuti allo spazio ristretto a disposizione dei parcheggi. Inoltre, si stanno progettando dei serbatoi ad alta pressione leggeri ed impermeabili all'idrogeno. Lo scopo è quello di utilizzare tali serbatoi in spazi ristretti ed in particolare a bordo di veicoli. Basato sul principio fisico che i cilindri siano efficienti nel contenere la pressione interna, questi serbatoi sono costituiti da più cilindri congiunti, con un reticolato rinforzato interno. Il risultato è quindi quello di un contenitore "multi-cella" il cui numero è ottimizzato in base al volume del liquido da immagazzinare. Con questo metodo è possibile immagazzinare il 50% di idrogeno in più rispetto all'uso di serbatoi tradizionali multipli. Attualmente sono stati già sperimentati i primi serbatoi formati da sole due celle.

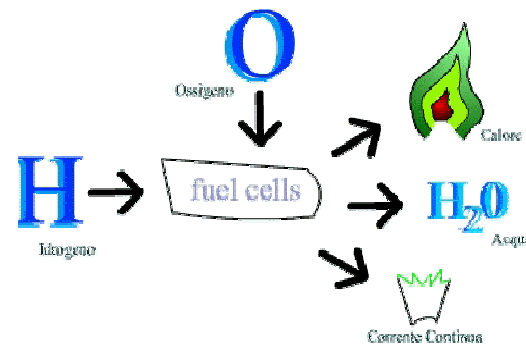
Strategie possibili per l'utilizzo immediato

Fintanto non sia individuato il sistema migliore per l'accumulo di idrogeno possono essere adottate strategie e tecnologie già collaudate e praticabili con le attuali strutture e reti di distribuzione. Alcuni esempi:

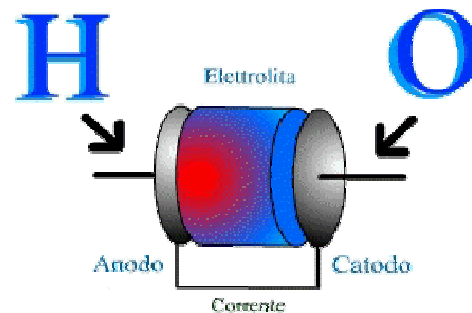
- qualsiasi idrocarburo addizionato con idrogeno migliora la combustione e il suo rendimento;
- metano additivato con il 15% in peso di idrogeno, corrispondente al 5% in termini energetici, definito commercialmente Hythane;
- ammoniaca: attualmente viene preparata da idrogeno estratto da idrocarburi, in particolari condizioni può essere più conveniente prepararla partendo da idrogeno elettrolitico e azoto atmosferico;
- alcol metilico: attualmente viene ottenuto da idrocarburi, in particolari condizioni può essere più conveniente ottenerlo da idrogeno più anidride carbonica (reazione di Sabatier) recuperabile magari da grossi impianti di immissione in atmosfera;
- syngas: attualmente si ottiene da pirolisi o gassificazione di biomasse, si può produrre anche partendo da idrogeno ed ancora da anidride carbonica.

Fuel cell, pila a combustibile

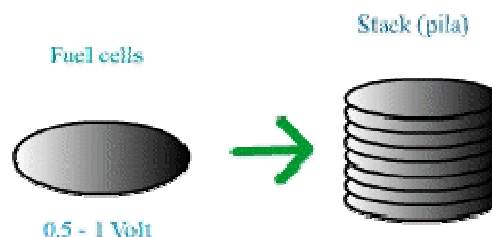
La pila a combustibile è un generatore elettrochimico in cui, in linea di principio, entrano un combustibile (tipicamente idrogeno) e un ossidante (ossigeno o aria) e da cui si ricavano corrente elettrica continua, acqua e calore. Il combustibile (idrogeno) e i gas ossidanti (ossigeno dato semplicemente dall'aria) lambiscono rispettivamente l'anodo e il catodo (sulle facce opposte a quelle in contatto con l'elettrolito).



Data la porosità degli elettrodi, vengono in questo modo continuamente alimentate le reazioni di ossidazione del combustibile e di riduzione dei gas ossidanti. Come combustibile possono essere usati oltre all' idrogeno anche il metano e il metanolo ; da questi naturalmente l'idrogeno deve essere estratto con un particolare procedimento. Le pile a combustione possono essere pensate come uno strumento che fa l'inverso dei più conosciuti esperimenti dove passando una corrente elettrica attraverso l'acqua si divide in idrogeno e ossigeno.

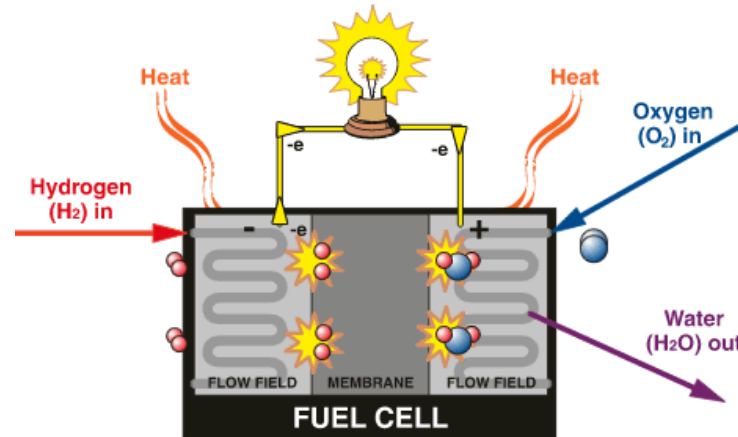


Un aspetto di importanza fondamentale per le applicazioni delle pile a combustibile, e' rappresentato dal fatto che gli effluenti (acqua e gas esausti), che vanno continuamente rimossi dalla cella, non contengono sostanze inquinanti. La cella ha struttura piatta a tre strati, di cui quello centrale, compreso fra il catodo e l'anodo, costituisce o contiene l'elettrolito. Alcuni tipi di celle funzionano in orizzontale altre in verticale.



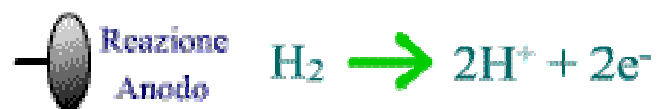
Sono simili alle batterie e quindi, come gli altri elementi voltaici, una pila a combustibile e' formata essenzialmente da due elettrodi , catodo ed anodo, e da un elettrolito che permette la migrazione degli ioni. Diversamente che dalle batterie comuni, nella pila a combustibile, la materia attiva viene continuamente rinnovata e quindi la corrente elettrica continua può essere erogata indefinitamente se si mantiene l'alimentazione di combustibile e di gas ossidanti. In pratica, le superfici affacciate devono avere un'area sufficiente per ottenere intensità di corrente adeguate alle esigenze applicative. Si può così arrivare, in funzione dell'applicazione e della filiera di celle, a superfici dell'ordine del metro quadrato. Le singole celle (caratterizzate da tensioni comprese da mezzo volt a un volt , secondo la tecnologia adottata e il carico elettrico ad essa collegato) vengono sovrapposte una all'altra, collegandole in serie in modo da ricavare una tensione complessiva del valore desiderato. L'impilamento di celle che così si ottiene, forma il così detto stack (o pila), che rappresenta la base della sezione elettrochimica. Generalmente un impianto a celle combustibili è composto, oltre che dal modulo di potenza (contenente la sezione elettrochimica) anche da un convertitore di corrente (inverter) e di un trasformatore che convertono la corrente continua generata dalla pila in corrente alternata alla tensione e alla frequenza desiderate.

Pile a combustibile con membrana di scambio protonico: PEM (Proton Membrane Exchange). Conosciute anche come SPFC (Solid Polymer Fuel Cell) e PEFC (Proton Exchange Fuel Cell). Queste pile a combustibile (o celle a combustibile) funzionano a temperature relativamente basse (60-120 °C), hanno un'alta densità di energia e il loro rendimento può variare velocemente a seconda delle esigenze. Sono adatte per applicazioni che necessitano di un avvio veloce.



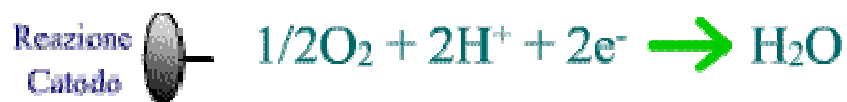
Secondo il Dipartimento di Energia Statunitense “sono le più indicate per i veicoli a basso rendimento, per gli edifici e, potenzialmente, per piccoli strumenti, essendo utilizzabili come batterie sostituibili o ricaricabili”. La membrana di scambio dei protoni, ricoperta da entrambi i lati da una lega di particelle metalliche (in origine platino ma ora anche altri materiali meno costosi) sparpagliate che fungono da catalizzatori, è un sottile foglio di plastica che permette il passaggio dell'idrogeno. Gli atomi di idrogeno vengono attirati verso l'anodo della pila a combustibile dove, grazie al catalizzatore, sprigionano elettroni diventando ioni di idrogeno (protoni). Gli elettroni così prodotti, creano corrente elettrica che può essere utilizzata prima che venga raggiunto il catodo, dove si trova l'ossigeno. Nello stesso tempo i protoni, attraverso la membrana, arrivano al catodo dove idrogeno e ossigeno hanno prodotto acqua, completando l'intero processo.

La reazione all'interno di ogni elettrodo:



Il gas di idrogeno viene ionizzato producendo elettroni liberi e H^+ ioni.

Gli elettroni percorrono il circuito esterno della cella, e arrivano al catodo. Gli H^+ ioni si muovono attraverso la soluzione elettrolitica e arrivano anch'essi al catodo.



L'unico carburante consentito è l'idrogeno, gli idrocarburi possono essere utilizzati ma il loro reform deve essere fatto perfettamente. Una piccola quantità di monossido di carbonio nella cella è un veleno permanente per il catalizzatore. Generalmente lavorano ad una temperatura di esercizio di 90°C e questo permette di usare anche materiali poco costosi. Sfortunatamente queste basse temperature sono vicine alla temperatura ambiente e questo è un problema perché non si riesce a disperdere il calore in eccesso. E' richiesto un catalizzatore per avviare la reazione a queste basse temperature; agli inizi veniva usato il Platino ma il suo alto costo ha portato a sviluppare nuovi materiali. Se si usa un reformer sono richiesti alcuni minuti ulteriori per il riscaldamento. La riserva di idrogeno deve essere usata nella fase di start-up. E' richiesto l'uso di un impianto di raffreddamento, questo per la presenza di acqua pura nella cella. La gestione di quest'acqua è un problema per le prestazioni della cella; la cella infatti, deve operare in condizioni tali che l'acqua prodotta non evapori troppo velocemente altrimenti la membrana polimerica non è sufficientemente idratata. Per questi problemi spesso si arricchisce di H_2 gas con poco o niente CO (diventa un serio problema alle basse temperature). Le celle a membrana polimerica sono state inizialmente sviluppate per impieghi spaziali e, a partire dalla metà degli anni Ottanta, sono oggetto di crescente attenzione per applicazioni di trazione elettrica a causa dell'elevata densità di potenza e dell'assenza di problemi di corrosione. Dopo qualche applicazione di nicchia, come flotte di autobus o vetture per uso cittadino, dal 2004 le applicazioni hanno cominciato ad estendersi alle vetture di uso privato. Nel settore della generazione stazionaria di energia elettrica, l'uso delle pile a combustibile a membrana polimerica è previsto nelle seguenti applicazioni: sistemi di emergenza (con potenze da poche decine di watt fino a 10 kW) adatti a rimpiazzare i tradizionali sistemi diesel generazione di energia localizzata per usi residenziali (moduli da 3-5 kW) generazione di energia per il settore commerciale (moduli da 50-200 kW) conversione dell'idrogeno, sottoprodotto di processi chimici, in energia elettrica per usi industriali (moduli da 200 kW).

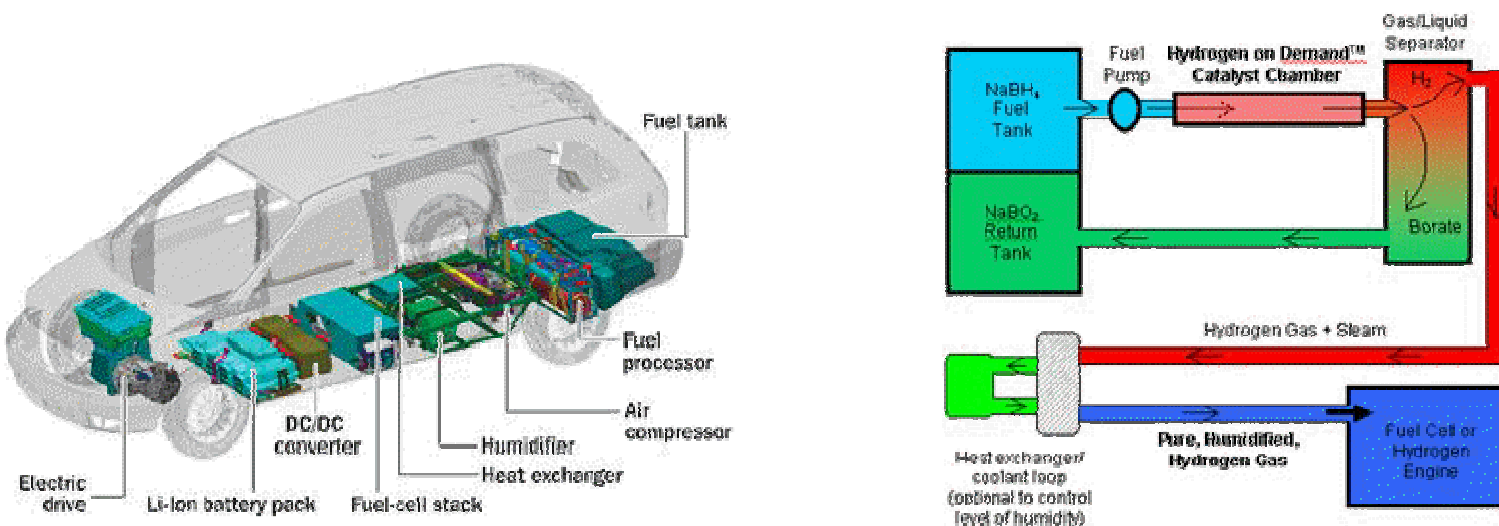
Nei primi anni 2000 sono stati sviluppati numerosi prototipi di mezzi di trasporto dotati di pile a combustibile, quasi tutte le case automobilistiche hanno sviluppato uno o più progetti, alcuni con soluzioni particolarmente interessanti. Le fuel cell adottate sono quasi esclusivamente di tipo PEM, le più adattabili a sistemi mobili, soprattutto per le auto.

Prototipi alimentati con idruri chimici

Ad oggi esiste una sola società che sia riuscita a sviluppare un sistema di rifornimento ad idrogeno puro, ad alta densità, a sicurezza intrinseca e soprattutto che risolva il problema di accumulo, trasporto e distribuzione del combustibile.

Tutto ciò è possibile sviluppando un carburante chimico adatto alle fuel cell e riciclabile in un ciclo chiuso, nel quale alle varie trasformazioni viene solo aggiunto idrogeno.

Il carburante è composto da un sale (NaBH_4 , sodio boridruro) che quando viene introdotto nel serbatoio dell'auto è diluito in acqua, questa "acqua salata" (non tossica e non infiammabile) fatta passare per un sistema catalitico rilascia idrogeno "su domanda", cioè, l'idrogeno viene prodotto al momento del bisogno per cui l'idrogeno "libero" nel sistema è presente in parti minime, riducendo a zero i rischi di incendi e/o esplosioni, a valle del processo catalitico oltre all'idrogeno si ha del borace (NaBO_2 , borato di sodio) un composto chimico non nocivo utilizzato nell'industria dei detersivi. Il sistema installato su un minivan è dislocato interamente sul pianale e non pregiudica l'abitabilità della vettura di serie originale. Lo schema del ciclo del carburante nel sistema indica come il carburante processato, dopo essere passato per catalizzatore, viene recuperato in un altro serbatoio sotto forma di borace, un composto chimico simile al sapone, anche questo non tossico e riciclabile industrialmente in nuovo carburante (l'unico elemento che entra ed esce nel processo è idrogeno puro), una tecnologia che potrebbe essere considerata ottimale se sarà messo a punto un sistema a costi sostenibili.



I prototipi dimostrativi presentati con questa tecnologia sono 2:

- Chrysler Natrium, presentato all'inizio del 2002. Ha una autonomia superiore ai 500 Km e una velocità superiore ai 150km/h



- Peugeot H2O, presentato in autunno del 2003



Su questi veicoli la quantità di idrogeno presente nel ciclo non supera mai i 2,5 grammi, l'equivalente di un bicchiere di benzina, l'idrogeno viene prodotto a bordo a partire da una soluzione acquosa di boroidruro di sodio e da un catalizzatore al rutenio.

Prototipi alimentati ad idrogeno complesso

Le prime auto con fuel cell in una fase precommerciale sono provviste di bombole ad idrogeno compresso.

La Toyota FCHV4 utilizza un serbatoio di idrogeno puro a 250 bar, ha una velocità superiore ai 150 kmh , ma ha un'autonomia limitata, è assieme alla Honda l'unica vettura ad idrogeno in commercio (in Giappone e USA, solo a enti pubblici), sembra comunque un prototipo all'avanguardia, oltre al costo il problema maggiore è ovviamente la mancanza di infrastrutture per il rifornimento di idrogeno compresso.



La General Motor si caratterizza per essere all'avanguardia sul concetto di "sistema integrato" soprattutto sull'ultimo prototipo, nel quale sono concentrate molte innovazioni: sistema by-wire unito alle fuel cell ed a un sistema di serbatoi ad alta pressione in fibra di carbonio composita che permettono una buona autonomia anche utilizzando idrogeno compresso (oltre 600 bar), cosa che non è possibile ad altri prototipi che utilizzano lo stesso sistema ma a "soli" 250-300 bar, con serbatoi in metallo.



La Mercedes ha dichiarato di voler immettere nel mercato a breve scadenza un modello Classe A alimentato a idrogeno compresso con una autonomia limitata a 150 km e una velocità massima di 140 km/h.



La Hyundai FCEV ha 200 Km di autonomia



molti prototipi ad idrogeno compresso sono allestiti con modelli SUV, probabilmente per dissimulare meglio i voluminosi contenitori ad alta pressione, salvo poi avere maggiori consumi dato il peso e volumi da veicolare.

Prototipi alimentati ad idrogeno liquido

Prototipi alimentati ad idrogeno liquido sono stati sviluppati dalle maggiori case automobilistiche, i maggiori sostenitori di questa soluzione sono BMW e Opel, però i prototipi della BMW sono spinti da propulsori a combustione interna e non da fuel cell. Hydrogen3, ha completato con pieno successo, di tutte le tecnologie sviluppate dai tecnici General Motors, una maratona di 10 mila km. Un serbatoio da 68 litri, pari a 4,6 kg di idrogeno liquido, ha assicurato la piena percorrenza di tutte le tappe di 500 km, è capace di una velocità massima di 160 km/h.

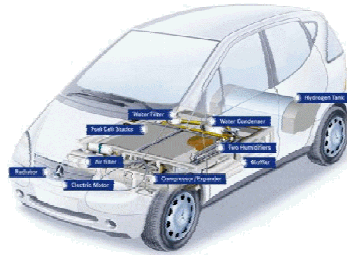


Honda FCX V3, ha una autonomia di 350 Km, velocità massima 150 Km/h, in USA è possibile noleggiarla a 500 \$ al mese (idrogeno liquido escluso).



La versione 4 della Nekar (Mercedes) è stata la prima, nel 1999, ad essere assemblata con tutti i componenti di trazione nel pianale dell'auto, conservando tutti gli spazi interni della vettura originale.

La pila a combustibile ha una potenza di 75Hp (55 kW) e l'autonomia è di 450 km



Mezzi pubblici

Il primo autobus a celle a combustibile è stato realizzato dalla Ballard nel 1993. ad oggi, sono stati messi in circolazione nel mondo oltre 30 autobus alimentati con celle a combustibile, più della metà dei quali in America del Nord. Recentemente, anche in Europa, i progetti autobus con celle a combustibile si sono moltiplicati. La commercializzazione degli autobus a celle a combustibile sembra più vicina a quella dei veicoli leggeri: le loro dimensioni, infatti, rendono meno critica l'esigenza di miniaturizzazione e riduzione del peso, in più effettuano percorsi regolari, è più facile prevedere e riscontrare le performance richieste, il problema della scelta e della distribuzione del combustibile è meno critico, poiché le flotte di autobus sono generalmente rifornite in una sede centrale, dopo aver percorso un numero noto di chilometri. Dieci società di trasporti pubblici europee hanno acquistato ciascuna tre autobus urbani Citaro Mercedes- Benz, lungo dodici metri, ha un'autonomia di circa 200 km ed è in grado di trasportare 70 passeggeri. Attualmente sono utilizzati in prova per due anni per il trasporto pubblico nei centri urbani. Gli autobus devono dimostrare la loro affidabilità in tutte le condizioni climatiche, sia nei climi freddi degli inverni del nord che in quelli torridi delle estati spagnole, devono poter viaggiare in pianura ed in regioni collinose come per esempio la zona di Stoccarda. Le fuel cells hanno una potenza di 200 kW.



Altri prototipi in fase di prova sono costruiti in USA in collaborazione con la UTC Fuel Cell Technologies, la società che fornisce la Nasa di fuel cell per gli Shuttles, in genere nei bus i serbatoi contengono idrogeno compresso e sono alloggiati nel tetto.



A Torino esiste un'iniziativa con l'obiettivo finale di iniziare la messa in esercizio di piccole flotte di bus a partire dal 2005, mentre le tempistiche per una maggiore diffusione di tale tipo di tecnologia dipenderanno dagli esiti della sperimentazione e dalla possibilità di avere a disposizione le Fuel Cell a prezzi compatibili con il mercato, sul primo veicolo sperimentale le pile a combustibile sono della UTC Fuel Cell Technologies.

Prototipi con motori a scoppio alimentati ad idrogeno

Alcune case automobilistiche hanno modificato vetture con motori tradizionali adattandoli all'alimentazione ad idrogeno, la più conosciuta e pubblicizzata è la BMW anche se in definitiva i progressi tecnologici proposti sono molto inferiori ai prototipi con sistema a fuel cell. MINI Cooper Hydrogen, ha al suo interno due innovazioni, la prima riguarda i quattro cilindri del motore a combustione interna che possono essere riempiti direttamente con una miscela criogenica (a bassissima temperatura. per mantenere l'idrogeno allo stato liquido). In questo modo i cilindri hanno un riempimento maggiore, un migliore rendimento e una maggiore potenza. La seconda innovazione riguarda il serbatoio. Normalmente finora, per l'idrogeno liquido venivano impiegati solo serbatoi di forma cilindrica poiché si era visto che erano gli unici a soddisfare i rigidi standard di sicurezza. Questo comportava numerosi vincoli al progettista. Nella MINI è presente, per la prima volta, uno speciale serbatoio preformato, situato al di sotto dei sedili posteriori, che è stato studiato appositamente per non sacrificare spazio ai passeggeri ed ai loro bagagli.

Nella MINI è presente, per la prima volta, uno speciale serbatoio preformato, situato al di sotto dei sedili posteriori, che è stato studiato appositamente per non sacrificare spazio ai passeggeri ed ai loro bagagli.



Mazda RX-8 con motore rotativo Wankel



Con sistema di accumulo ad idrogeno compresso la Mazda ha realizzato un motore alimentato sia ad idrogeno sia a benzina chiamato RENESIS che per le sue caratteristiche di compattezza e prestazioni è stato nominato Motore Internazionale dell'Anno 2003 a giugno.

Jatropha, la pianta del demonio

Finora è stata apprezzata quasi solo da santoni che praticano riti voodoo, perchè tiene lontani gli spiriti maligni, almeno nella pittoresca religione caraibica, ma per tutti gli altri è una pianta scorbutica, velenosa e disgustosa.



La jatropha cresce in terreni aridi, inutilizzabili per altre colture. Da questo punto di vista non sottrae risorse alle colture alimentari. La jatropha è un arbusto della famiglia delle *Euforbiacee* nativo dell'America centrale. È talmente tossica da non avere molto da temere dai parassiti tropicali, e soprattutto ha grossi semi che contengono moltissimo olio che sembra fatto apposta per alimentare i motori diesel. Tant'è che gli abitanti del posto hanno scoperto ben presto che basta macinarla, filtrare il succo e l'olio può andare immediatamente ad alimentare un semplice motore diesel, senza nessun passaggio ulteriore. Cosa che non deve averli stupiti granché, visto che sono secoli che i loro avi la usavano per alimentare le lampade a petrolio. La jatropha ha attirato l'attenzione dell'industria del biodiesel, che adesso vede nell'orrenda pianta una miniera d'oro: non è in competizione con le coltivazioni a uso alimentare, crescendo in terreni aspri, dove sarebbe impossibile coltivare qualcosa di commestibile. Attecchisce persino sulla sabbia e in condizioni di grande siccità; cresce in fretta, dando frutti stracarichi d'olio (fino al 40% del peso) dopo un paio di anni dalla semina; è una pianta selvatica, perciò non ha bisogno di cure particolari e qualsiasi contadino sarebbe felice di tirare fuori oro dalla jatropha, che cresce benissimo anche dove non dovrebbe, soffocando le altre piante. E di oro ce n'è parecchio nella jatropha, il suo olio vale 43 dollari al barile, più o meno. La produttività dell'erba del demonio fa gola. Può dare fino a 680 litri di olio per ettaro. Così Filippine, India e Paesi africani come il Mali si sono buttati nell'affare. In India la pianta viene coltivata lungo la ferrovia tra Bombay e Dheli, e il treno che percorre quei binari usa un quinto di olio di jatropha per far girare il suo motore diesel. Le linee aeree neozelandesi guardano ancora più in là: progettano di alimentare la jatropha uno dei quattro motori dei loro jumbo. Anche l'industria italiana è interessata: il gruppo siciliano Moncada ha stretto accordi con le autorità del Mozambico per coltivare la jatropha in quel paese, su una superficie di 10 mila ettari. L'olio estratto sarà trasportato a Porto Empedocle (in provincia di Agrigento) per alimentare turbine elettriche.

Legna da ardere

(dispense del corso di sistemi energetici e qualità dell'ambiente)

Introduzione

La legna rappresenta un'alternativa pulita e rinnovabile alle fonti fossili per la produzione di calore, a patto di gestire in maniera sostenibile i boschi e di utilizzare stufe e camini efficienti e moderni. Gli sviluppi tecnologici di stufe e caminetti hanno segnato negli ultimi anni grandi progressi, raggiungendo livelli di efficienza, affidabilità e comfort. E poi non c'è più unicamente la legna da ardere in ciocchi: esistono varie tipologie di combustibile di origine legnosa, con caratteristiche e qualità differenti, come il pellet e il cippato. Tutti i combustibili legnosi hanno anche il pregio di non introdurre in atmosfera nuova anidride carbonica rispetto al processo naturale di decomposizione del legno. Tra i combustibili legnosi, quello che sta prendendo più piede negli ultimi anni è il pellet, piccoli cilindretti di segatura pressata della lunghezza di 6 mm ottenuti dagli scarti di lavorazione del legno. Oltre al pellet, molto utilizzato è il cippato, un combustibile ricavato dai resti più scadenti dell'esbosco, come piccoli rami, fogliame, potature degli alberi (macchine "cippatrici" frantumano scarti di legna e ramaglie, ottenendo il cippato). Il cippato si sta diffondendo soprattutto nelle aree rurali, mentre il pellet ha più facilità a penetrare nelle zone urbane. Unico elemento potenzialmente problematico della produzione di calore con le biomasse legnose è l'emissione di polveri sottili, per questo le moderne caldaie a biomassa hanno sistemi di filtraggio per abbattere le emissioni di polveri.

Il legno come combustibile

Per confrontare organicamente i problemi dell'utilizzazione del legno come combustibile é opportuno conoscerne le proprietà che possono essere convenientemente raggruppate in fisiche, termiche, chimiche e minerali.

Alcune delle proprietà che saranno analizzate variano in funzione del tipo di legna, dalla posizione di prelievo all'interno dell'albero e dalle condizioni di crescita dello stesso. Altre proprietà dipendono invece dalle condizioni di combustione.

Le differenze di composizione chimica e di struttura fisica hanno un ruolo determinante in particolare per quanto riguarda lo svolgimento dei processi termochimici e costituiscono un dato di base essenziale in fase di dimensionamento e di scelta di un impianto di conversione. I prodotti finali della combustione consistono in vapore, sostanze volatili, carbone e ceneri.

Le sostanze volatili sono a loro volta suddivise in gas e catrami.

Proprietà fisiche

Le proprietà fisiche includono la *densità*, la *densità di massa*, la *dimensione*, la *superficie interna ed esterna per unità di volume*, la *porosità* e il *colore*.

La densità della legna e della corteccia essiccati al forno varia mediamente da 300 a 550 kg/m³, su base secca. Per alcuni tipi di legna tropicale si arriva a valori quasi doppi, fino a 1040 kg/m³. Al crescere della umidità il volume e la densità crescono contemporaneamente fino al punto di saturazione delle fibre, intorno al 30 % di umidità. Al di sopra di questo punto cresce solo la densità. Il contenuto di umidità della legna fresca varia dal 35 al 60 % su base umida. La legna normalmente utilizzata come combustibile ha una umidità dal 5 al 20 %. La dimensione della legna utilizzata come combustibile varia dall'intero albero fino alla segatura, includendo combustibili processati e pellettizzati. La densità di massa secca, definita come massa di legna essiccata al forno per unità di volume di legna verde, varia da 157 kg/m³ per i residui di piallatura di legno duro fino a 227 kg/m³ per la segatura.

In tabella 1 sono riportate le densità di massa tipiche per alcuni tipi di combustibili di legna.

Tabella 1. Densità di massa tipiche per alcuni tipi di combustibili di legna.

Tipo di combustibile	Densità di massa kg/m ³
Segatura e corteccia di legno duro	227
Miscela di segatura di pino e legno duro	219
Cippato di legno duro pulito	210
Cippato di legno duro non pulito	211
Cippato di pino non pulito	181
Residui di piallatura	157

Le dimensioni delle particelle costituenti la segatura sono per l'80 % inferiori ai 2,5 mm, mentre il cippato ha dimensioni circa 10 volte superiori. Chiaramente le dimensioni e la loro distribuzione varia col tipo di lavorazione a cui è sottoposto il legno. La densità iniziale del carbone, ottenuto al termine della pirolisi, è il 10 - 20 %, su base secca, di quella della legna di partenza, e diminuisce progressivamente durante la combustione del carbone. La superficie interna del carbone di legna è nell'ordine di 10⁶ m²/ kg. La dimensione dei pori varia da 0,01 a 30 m. Quando il legno viene riscaldato cambia di colore. A 250 °C il colore è marrone scuro e indica lo svolgersi del fenomeno della pirolisi. A 300 °C il colore è nero e indica l'inizio della combustione del carbone.

Proprietà termiche

Le principali proprietà termiche sono: il *calore specifico del legno e del carbone*, la loro *conducibilità termica* e l'*emissività del carbone*. Il calore specifico dipende dalla temperatura e dall'umidità, ma non è influenzato dalla densità e dalla specie.

Il calore specifico della legna secca è dato dalla seguente relazione:

$$c(\text{dry}) = 0,1031 + 0,003867 T \text{ (kJ/ kg K)}$$

dove T è la temperatura espressa in Kelvin.

Il calore specifico della legna umida è maggiore di quello che ci si aspetterebbe applicando semplicemente la legge sui miscugli, ovvero considerando gli assorbimenti di energia dell'acqua e del legno separatamente. Il valore è dato dalla seguente relazione:

$$c(\text{wet}) = [c(\text{dry}) + 4,19 U]/(1 + U) + A \text{ (kJ/kg K)}$$

Dove U indica la frazione di umidità su base secca e A è dato dalla seguente relazione:

$$A = (0,02355 T - 1,32 U - 6,191) U$$

Superato il punto di saturazione delle fibre $A = 0$. In base alla temperatura e all'umidità il calore specifico può variare di oltre il 100 %.

Il calore specifico del carbone di legna può essere ragionevolmente assunto uguale a quello della grafite e varia da 0,715 kJ/ kg K a 300 K fino a 2,04 kJ/ kg K a 2.000 K, e può essere calcolato, tra i 700 e i 2.000 K, con la seguente relazione:

$$c(\text{char}) = 1,39 + 0,00036 T \text{ (kJ/ kg K)}$$

La conducibilità termica della legna cresce con la densità, l'umidità e la temperatura; inoltre essa è circa 1,8 più grande in direzione parallela alle venature che in direzione radiale o tangenziale. La conducibilità termica perpendicolare alle venature può essere calcolata, in prima approssimazione, con la formula:

$$k = S (0,1941 + 0,4064 U) + 0,01864 \text{ (W/mK)}$$

dove S è il peso specifico basato sul volume alla umidità corrente e il peso secco. La conducibilità termica del legno cresce con la temperatura approssimativamente dello 0,2 % per °C sopra la temperatura ambiente.

La conduttività termica del carbone di legna viene normalmente indicata, per alcune specie, 0,052 W/ m K alla temperatura ambiente. Intuitivamente, la conduttività termica del carbone dipende dalla densità, che a sua volta dipende dalla velocità di riscaldamento. Non sono disponibili relazioni valide per ogni carbone, alcuni autori riportano, per il calcolo, la seguente relazione:

$$k = 0,67 S - 0,71 \quad (\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1})$$

Tale relazione perde validità per valori di $S < 0,106$.

La radiazione termica del carbonio è 0,80 ed è indipendente dalla temperatura. La reale emissione del carbone di legna risulta più bassa per via dello strato di cenere che si forma sulla superficie. Le caratteristiche dello strato dipendono a loro volta dalla temperatura, dalla velocità del flusso d'aria e dalla concentrazione di ossigeno; pertanto risulta molto difficile valutare a priori il valore della emissività. Gli ossidi refrattari, molto simili alle ceneri della legna, hanno ad esempio una emissività tipica attorno a 0,4 a 1300 K. Nei modelli teorici viene spesso assunta una emissività di 0,75.

Proprietà chimiche

Le proprietà chimiche principali sono: *l'analisi elementare, l'analisi immediata, l'analisi dei prodotti della pirolisi, il potere calorifico, il calore di pirolisi, il potere calorifico dei prodotti volatili* e quello del carbone.

L'analisi elementare fornisce la percentuale in peso di C, H, O, N e S. Il contenuto di carbonio varia mediamente tra il 50 - 53 % nel legno morbido e tra il 47 - 50 % per il legno duro, in base al contenuto di lignina ed estrattivi. Il contenuto di idrogeno è di circa il 6 % per tutte le specie di legna, mentre quello di ossigeno varia tra il 40 e il 44 %. Zolfo e Azoto hanno percentuali rispettivamente minore di 0,1 % e 0,2 %.

L'analisi immediata fornisce la frazione in peso dell'umidità, delle sostanze volatili, del catrame, del carbone e delle ceneri (in base alle norme standard ASTM E870-82). Per prima cosa il legno viene riscaldato a 103 °C per evaporare l'umidità, e valutarne la quantità mediante la differenza di peso prima e dopo il riscaldamento. Riscaldando nuovamente a 950 °C in assenza d'aria si ha la pirolisi del legno con emissione delle sostanze volatili. Il residuo della pirolisi, carbone di legna, viene quindi bruciato a 600 °C per misurarne il contenuto di ceneri. La produzione di sostanze volatili può essere aumentata incrementando la velocità di riscaldamento, ad esempio mediante aumento della superficie di scambio termico. Al contrario la produzione di carbone viene aumentata riducendo la velocità di riscaldamento.

La produzione di sostanze volatili in condizioni di combustione possono essere suddivise in idrocarburi leggeri (in particolare metano, CH_4), catrame ($\text{C}_6\text{H}_{6,2}\text{O}_{0,2}$), monossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno e vapor d'acqua. Le quantità dei singoli componenti dipende dalla temperatura e dalla velocità con cui viene fornito il calore di pirolisi. In tabella 2 è riportata la distribuzione dei prodotti della pirolisi in condizioni di combustione per un legno secco.

I poteri calorifici superiori di differenti specie di legna su base secca variano meno del 15 % l'uno dall'altro: per il legno duro tale valore varia dai 19 ai 21 MJ/kg mentre per il legno morbido si ha un valore leggermente superiore, tra 20 - 22 MJ/kg, per via del maggior contenuto di lignina ed estrattivi.

La quantità di calore che il legno produce dipende principalmente dal suo potere calorifico e dall'umidità che contiene al momento della combustione. E' opportuno evidenziare che il vapor d'acqua, quale prodotto finale della combustione, in alcuni casi può condensare con liberazione del relativo calore latente. Per questo motivo vengono distinti due poteri calorifici: inferiore (P.C.I.) e superiore (P.C.S.). Il P.C.I. è la quantità di calore che l'unità di peso o di volume di un combustibile produce quando l'acqua igroscopica e quella di combinazione si trovano, come avviene generalmente in pratica, allo stato vapore (con fumi caldi).

Tabella 2. Distribuzione dei prodotti della pirolisi in condizioni di combustione per un legno secco.

PRODOTTO	FRAZIONE DI MASSA
H ₂ O	0,25
CO	0,183
CO ₂	0,115
H ₂	0,005
Idrocarburi leggeri	0,047
Catrame	0,20
Carbone	0,20

Il P.C.S. è la quantità di calore che l'unità di peso o di volume di un combustibile produce bruciando completamente a CO₂ ed acqua libera (il vapor d'acqua si condensa rendendo disponibile il calore latente di condensazione).

Il P.C.S. è superiore al P.C.I. di circa 300 kcal/kg per il legno allo stato umido. Questo valore varia con il contenuto di umidità del legno. I poteri calorifici superiori di differenti specie di legna su base secca variano meno del 15 % l'uno dall'altro: per il legno duro tale valore varia dai 19 ai 21 MJ/kg mentre per il legno morbido si ha un valore leggermente superiore, tra 20 - 22 MJ/kg, per via del maggior contenuto di lignina ed estrattivi.

In tabella 3 è riportata l'analisi elementare (% in peso sul secco) e il potere calorifico di alcune specie legnose.

Tabella 3. Analisi elementare (% in peso sul secco) e il potere calorifico di alcune specie legnose.

	C	H ₂	S	O ₂	N ₂	Ceneri	P.c.i. MJ/kg
Cedro	48,80	6,37	-	44,46	-	0,37	19,54
Cipresso	54,98	6,34	-	38,08	-	0,40	22,96
Douglas	52,30	6,30	-	40,50	0,10	0,80	21,05
Abete canadese	50,40	5,80	0,10	41,40	0,10	2,20	20,50
Pino bianco	52,55	6,08	-	41,25	-	1,13	26,33
Pino giallo	52,60	7,02	-	40,07	-	0,31	22,35
Sequoia	53,50	5,90	-	40,30	0,10	0,20	21,30
Frassino	49,73	6,93	-	43,04	-	0,30	20,75
Faggio	51,64	6,26	-	41,45	-	0,65	20,38
Betulla	49,77	6,49	-	43,45	-	0,29	20,12
Olmo	50,35	6,57	-	42,34	-	0,74	20,49
Acero	50,64	6,02	-	41,74	0,25	1,35	19,96
Quercia nera	48,78	6,09	-	44,98	-	0,15	19,03
Quercia rossa	49,49	6,62	-	43,74	-	0,15	20,21
Quercia bianca	50,44	6,59	-	42,73	-	0,24	20,49

In pratica il legno contiene sempre una certa umidità pertanto il P.c.i. misurato allo stato anidro non ha grande significato nella realtà in quanto il potere calorifico reale è sempre inferiore a quello del legno allo stato anidro. Una relazione empirica lega il P.c.i. reale a quello teorico e all'umidità del legno:

$$P.C.I._{(reale)} = P.C.I. (1 - 0,015 u)$$

Dove u è la percentuale di umidità presente.

Proprietà minerali

Il contenuto di minerali nella legna pulita proveniente da aree temperate varia tra 0,1 e 0,6 %, mentre nella corteccia si ha dal 3 al 5 %. Le sostanze minerali nel legno consistono essenzialmente in sali di calcio, potassio e magnesio, e in minor quantità di sali di altri elementi. In tabella 4 sono riportate le analisi minerali, in ppm, sul legno pulito, sulla corteccia e sull'intero albero per alcune specie. Il contenuto di minerali varia tra legna e corteccia, e in base al terreno e alla velocità di crescita. La presenza di alcuni minerali, tipo il silicio, derivano da contaminazioni della corteccia a causa del vento o dei sistemi di raccolta e stoccaggio.

Tabella 4. Analisi minerali, in ppm, sul legno pulito, sulla corteccia e sull'intero albero per alcune specie.

Elemento	Pioppo	Quercia	Pino	Pioppo (albero)	Pino (cort.)	Quercia (cort.)
Ca	1.182	1.976	1.141	4.160	5.282	24.418
K	517	1.128	116	1.424	1.333	88
Mg	265	294	326	493	1.137	3.816
P	108	75	40	323	-	-
Na	258	216	230	17	280	3.500
Mn	48	59	121	17	-	-
Fe	35	70	72	30	609	1.224
Al	14	32	-	10	2.149	29
Cu	3	2	-	13	-	-
Zn	8	62	-	36	-	-
S	-	-	-	107	-	-
B	-	-	-	13	-	-
Pb	-	-	-	1,4	-	-
Cd	-	-	-	0,3	-	-
Si	-	-	-	-	5.278	2.745

Alcuni sali vengono formati dai componenti degli acidi organici delle pareti cellulari, mentre gli altri sono formati dai carbonati, dai silicati, dai fosfati, dai solfati ecc..

Le ceneri sono formate dai minerali che residuano dalla combustione e dalla gassificazione, e sono costituite per un 40 - 70 % da ossidi di calcio e per un 10 - 30 % da ossidi di potassio. La loro quantità varia da 0,1 a 1 % per la legna prodotta nelle aree temperate, fino al 5 % nelle aree tropicali; il contenuto di ceneri nella corteccia varia, invece, mediamente tra il 3 e l'8 %.

Durante la combustione gli ioni dei minerali si ossidano e volatilizzano oppure formano il particolato. La superficie del carbone ha una temperatura più elevata rispetto al gas o all'interno della particella e il particolato tende a formarsi sulla superficie del carbone. Mentre il carbone brucia, il particolato viene rilasciato. La conoscenza della composizione delle ceneri risulta importante per la analisi dei depositi di ceneri, della erosione e corrosione del sistema di combustione, e sulla previsione della opacità del gas di combustione.

Per indicare la tendenza a creare depositi all'interno del sistema di combustione viene utilizzata la temperatura di fusione delle ceneri. La determinazione di tale temperatura si ottiene per via sperimentale realizzando un cono con le ceneri derivanti dalla combustione miste con destrina. Il cono viene quindi sottoposto a temperature crescenti, fino a determinare la temperatura in cui inizia la deformazione, che viene appunto definita temperatura di inizio fusione. Vengono quindi determinate, per temperature crescenti, la temperatura di deformazione, quella di rammollimento e quella di liquefazione. L'esperimento può essere condotto in atmosfera ossidante (aria) o riducente (60 % CO e 40 % CO₂), con piccole differenze. Ad esempio, le temperature di deformazione iniziale, rammollimento e liquefazione per la corteccia di quercia valgono, rispettivamente, 1.477, 1.493 e 1.504 °C in ambiente riducente e 1.471, 1.499 e 1.510 °C in ambiente ossidante.

Combustione delle biomasse vegetali

Il meccanismo di combustione

Il meccanismo di combustione del legno è determinato da diverse fasi:

- evaporazione dell'acqua contenuta;
- pirolisi, vaporizzazione di sostanze combustibili e loro accensione;
- combustione del carbonio.

In particolare, riscaldando un campione di biomassa legnosa, superati i 100 °C, si ha espulsione di acqua e conseguente perdita di umidità; questa fase è chiaramente endotermica. Si può assumere che ogni kg di acqua richiede 638 kcal, di cui 582 kcal per la sola evaporazione e 56 kcal per rompere i legami idrogeno tra acqua e materia ligneocellulosica.

Proseguendo il riscaldamento, raggiunti i 280 °C circa, si ha espulsione di ulteriori tracce d'acqua e formazione di anidride carbonica, monossido di carbonio, acido formico, acido acetico, ed altri composti.

La condizione necessaria alla formazione della fiamma è la presenza di ossigeno ed il raggiungimento della temperatura d'ignizione pari a 600 °C per biomassa legnosa, è quindi necessario l'intervento di fiamma ausiliaria. Appena innescata l'accensione, si verifica un rapido aumento di temperatura in quanto i gas bruciano mantenendosi ad una temperatura di circa 1.100 °C, l'ossigeno diffonde dall'ambiente verso la fiamma, ma non riesce a raggiungere la superficie della biomassa lignocellulosica; il riscaldamento di quest'ultima non avviene quindi per contatto diretto con la fiamma, ma solamente per azione dell'energia radiante emessa dalla base della fiamma. La superficie esterna della biomassa appena pirolizzata non brucia durante questa fase, lo farà solamente quando il flusso del gas dall'interno della biomassa sarà cessato e l'ossigeno potrà venire a contatto con la superficie del carbone, formatosi durante la fase di pirolisi. La combustione in quest'ultima fase avviene praticamente senza sviluppo di fiamme (le poche presenti sono dovute alla presenza di ossigeno e di idrogeno nella struttura del legno), dura comunque più a lungo a causa delle caratteristiche isolanti del carbone vegetale.

L'accensione ed il mantenimento della fiamma su di un fuoco richiedono, come già detto, sia alte temperature, sia un flusso di ossigeno, per esempio è difficile accendere del legno accatastato molto stretto, a causa della difficoltà che l'aria trova a diffondere nella catasta. La capacità della biomassa a mantenere la fiamma dipende anche dalla sua dimensione: pezzi grandi, se non tenuti in contatto con sorgenti di ignizione, tenderanno a spegnersi più facilmente di pezzi di piccola dimensione, ciò dipende dall'esigenza di riscaldare sufficientemente tutto il pezzo affinché bruci.

E' importante considerare anche la velocità dell'aria: una velocità eccessiva può infatti raffreddare la legna ed allontanare la base della fiamma dalla superficie del pezzo, che riceve così meno energia radiante. Se poi la velocità dell'aria supera quella di propagazione di fiamma nel sistema, si ha distacco di fiamma e spegnimento della biomassa legnosa.

Temperatura di combustione e influenza dell'umidità

La temperatura massima che si raggiunge nella combustione del legno secco o di sostanze similari è di 1.800 °C; man mano che sale il contenuto di umidità, la temperatura di combustione si abbassa; ad esempio: con tenore del 20% di umidità la temperatura di combustione oscilla tra 1.000 – 1.200 °C.

Un forte tenore di umidità comporta oltre agli svantaggi citati, come la diminuzione del potere calorifico e l'abbassamento della temperatura di combustione, anche l'abbassamento del rendimento degli impianti di conversione energetica ed il rischio di condensazione nei condotti di fuoriuscita dei prodotti della combustione.

Residui della combustione

I residui della combustione delle sostanze lignocellulosiche sono di duplice natura, solidi (le ceneri) e aeriformi (i fumi). Rispetto ai fumi di combustione di altri combustibili, quelli delle biomasse vegetali presentano un elevato tenore di catrami e di vapor d'acqua, tanto più elevato quanto peggiore è la combustione ed elevato il tenore di umidità del combustibile.

Se il camino non è a temperatura sufficientemente elevata si ha condensazione e si depositano strati di fuliggine; questa è una delle cause di incendi al camino. Inoltre i fumi provenienti dall'utilizzo di biomasse vegetali contengono gas incombusti e carbonio libero sotto forma di particolato. Per ridurre questi elementi nei fumi, si possono usare degli accorgimenti nella combustione. La temperatura di uscita dei fumi varia notevolmente a seconda della presenza e del tipo di scambiatore di calore che si intende applicare a valle della camera di combustione per l'utilizzazione del calore prodotto (fumi/aria, fumi/acqua, fumi/vapore). In sistemi avanzati con tiraggio forzato la temperatura di uscita dei fumi scende intorno a 130 °C.

Caratteristiche dei sistemi di combustione

Esistono caratteristiche comuni a tutti i combustibili lignocellulosici che comportano un dimensionamento dei sistemi di conversione diverso da quello che si applica per gli altri combustibili.

1. Essendo combustibili poveri (basso potere calorifico per unità di massa e volume) è necessario prevedere un volume di combustibile consistente (rapporto 3 a 1 rispetto al carbone).
2. Essendo presente nella composizione elementare della legna un contenuto di ossigeno sul secco del 32 - 34%, il fabbisogno stechiometrico di aria comburente è inferiore.
3. Essendo inoltre combustibili ad elevato sviluppo di sostanze volatili (gas combustibili e catrami) è necessario prevedere l'immissione di aria secondaria per il completamento della combustione, al fine sia di migliorare il rendimento della combustione, sia per evitare condensazioni e depositi di catrami sullo scambiatore e nel camino.

Il punto 1 non dà luogo a problemi nel caso sia prevista l'alimentazione automatica, ma costituisce una voce importante se l'alimentazione è manuale.

Per quanto attiene al punto 2, pur essendo teoricamente necessaria una minore quantità di aria (6-6,5 kg di aria/kg di combustibile), in pratica sono necessari eccessi molto più consistenti che con qualsiasi altro tipo di combustibile.

Nel caso di moderni impianti industriali, con sistemi di controllo in tempo reale della qualità della combustione, si riesce a ridurre tali eccessi nell'ordine del 25-30 %.

Infine, riguardo al punto 3 si può dire che tutti i sistemi più avanzati prevedono una doppia immissione d'aria; di solito la prima arriva in prossimità della massa in combustione ed è destinata ad alimentare la fiamma principale; la seconda, invece, serve per bruciare i gas combustibili (CO , H_2) ed i catrami che si sono sviluppati. Quest'aria secondaria deve essere miscelata con le suddette sostanze in maniera uniforme ed, inoltre, deve avere una temperatura sufficientemente elevata da garantire una più facile combustione (da qui la necessità di prevedere uno scambiatore per il preriscaldamento, realizzato con opportuni condotti ricavati a ridosso della zona di combustione).

Il CO fra i vari incombusti emessi all'atmosfera è forse il meno dannoso. Le perdite per incombusti solidi sono diverse a seconda di come è effettuata la combustione e della taglia d'impianto. Tali incombusti sono praticamente assenti negli impianti a letto fluido, ma possono raggiungere il 7-8 % per impianti con combustione in sospensione. Inoltre le perdite per incombusti solidi si possono riscontrare sia al camino che allo scarico delle ceneri dalle griglie.

Tecnologia di combustione

Sono importanti per la combustione i seguenti parametri, il cui rispetto contribuisce a dare i migliori risultati:

- tempi di permanenza elevati;
- mescolamento ottimale tra le fasi mediante alcuni accorgimenti quali:
- fluidizzazione del letto di combustibile;
- movimentazione del letto di combustibile;
- combustione a due stadi: una in fase eterogenea (in atmosfera di ossigeno controllata), un'altra in fase omogenea (con eccesso d'aria);
- temperatura alta ma inferiore alla temperatura di fusione delle ceneri;
- camere di combustione molto ampie;
- omogeneizzazione della pezzatura del combustibile;
- preriscaldamento dell'aria, in particolare quella secondaria.

Nell'uso comune si può ricorrere alla seguente suddivisione:

- settore domestico < 30 kW
- settore civile e/o agricolo 30 ÷ 1000 kW
- settore industriale > 1 MW.

Nella valutazione dell'opportunità di adoperare la legna come combustibile, soprattutto in processi industriali, si deve porre particolare attenzione alle questioni di carattere economico legate al prezzo dei combustibili fossili. Il costo specifico della kcal prodotta con la combustione della legna, in questo caso, non deve essere superiore a quella del combustibile tradizionale più diffuso e a buon mercato, ovvero il metano. Nel caso di utenza domestica e civile dove i combustibili sostituiti sono il metano e il gasolio, il cui prezzo presenta alta incidenza delle tasse, è possibile teoricamente valorizzare la legna a prezzi maggiori.

Quanto detto fino ad ora è soprattutto teorico in quanto:

- si tratta sempre di impiegare un combustibile di natura solida con conseguenti rendimenti energetici più bassi (dal 60% all'85%, mentre per combustibili liquidi e gassosi i rendimenti sono compresi tra l'85% e il 92-93%);
- gli impianti per la movimentazione e l'impiego di un combustibile solido richiedono costi di investimento notevolmente più elevati, un rapporto medio riscontrabile sul mercato è di 3 a 1 per dispositivi di stessa potenzialità in termini di resa energetica;
- per quanto riguarda la difficoltà di penetrazione della legna nel mercato energetico dovuta al suo costo, fa eccezione l'impiego del combustibile solido per utenze domestiche (secondo case) dove l'aspetto hobbistico porta in secondo piano il valore energetico ed economico della legna;
- va comunque tenuto conto che l'utenza più pregiata (domestica) richiede una rete commerciale diffusa e caratteristiche definite per il prodotto in termini di granulometria (formelle, brichette), che evidentemente comportano un loro costo associato.

Settore domestico

Le tecnologie per uso domestico con potenzialità fino a 30 kW sono sostanzialmente a letto fisso e commercialmente si possono individuare:

- termocamini;
- stufe;
- caldaie.

Sia i termocamini che le stufe sono realizzate per accettare direttamente il combustibile sotto forma di formelle (brichette) o comunque di aggregati. Va sottolineato però come l'utilizzo di questi due sistemi, per il riscaldamento di ambienti o per la cottura di cibi, è in diminuzione per la sempre maggiore diffusione capillare del metano.

Per quanto concerne le caldaie, ve ne sono in commercio alcune adatte ad accettare come combustibile legna in tronchetti, trucioli, chips, brichette e simili. In linea generale si può dire che la tecnologia delle caldaie per uso civile, è oramai matura ed applicabile per fornire un buon rendimento energetico, nonché semplicità di uso e di installazione.

Tecnologie per uso civile e/o agricolo

Le taglie superiori ai 60 kW sono destinate a utenze di varia natura, quali: riscaldamento edifici condominiali, di comunità e di ambienti industriali, essiccazione di prodotti agricoli e forestali, produzione di vapore di processo (satturo) per piccole utenze industriali. I problemi connessi con l'impiego di combustibili vegetali risiedono innanzitutto nella necessità di alimentazione in continuo del combustibile. Lo stoccaggio e la movimentazione del combustibile per l'alimentazione del dispositivo di caricamento, assente per la maggior parte degli impianti domestici, dove un'autonomia di 4 ore è da ritenersi soddisfacente, può rappresentare un costo considerevole; vi sono dei casi in cui il costo di questa parte è paragonabile all'impianto di conversione (forno, scambiatore, depurazione, espulsione fumi). La necessità di un'alimentazione continua comporta altresì la necessità di un combustibile di granulometria ridotta (da qualche mm ad alcuni cm).

Il combustibile è disponibile già in granulometria fine da alcuni cicli di lavorazione (segherie, mobilifici, ecc.). Nel caso di impiego di legna in pezzatura medio - grande è necessario prevedere, tra le azioni a monte, una frantumazione per ridurre la pezzatura.

I sistemi di combustione per queste utenze, con le necessità prima espresse, sono riconducibili essenzialmente a due tecniche:

1. camera di combustione pirolitica e successiva combustione dei gas:
 - a) entro la caldaia;
 - b) in prossimità della caldaia.
2. combustione direttamente in caldaia con:
 - a) sistema a coppa (autofoco);
 - b) sistema a coclea.

Tra queste due soluzioni, la prima è la più indicata per l'impiego di combustibili ad elevato contenuto di sostanze volatili quali le biomasse legnose. L'utilizzo diffuso di tali biomasse in questi sistemi trova ostacolo per le difficoltà esistenti nell'approvvigionamento regolare di combustibile e nella disomogeneità che consegue dall'utilizzo di materiale di diverso tipo e pezzatura. Inoltre anche lo stoccaggio, necessario ad assicurarsi una scorta sufficiente di tipo stagionale, rappresenta un problema per le necessità di spazi e per la presenza di qualche potenziale rischio (incendio). In realtà il problema della disponibilità continua della biomassa legnosa e dello stoccaggio della stessa rappresenta un vincolo via via maggiore man mano che aumenta la taglia degli impianti, specialmente nel settore civile ove lo stesso deve essere inserito in realtà particolari (comunità, ospedali, collegi, caserme, ecc.). Parimenti, aumentando la taglia dell'impianto, diviene significativo, al di fuori del settore industriale, il problema dello smaltimento delle ceneri residue. Rispetto ai sistemi tradizionali che impiegano combustibili di origine petrolifera ed ancor più rispetto a quelli a gas, la combustione delle biomasse lignocellulosiche richiede inoltre una maggiore sorveglianza e quindi i costi della manodopera incidono in maniera più consistente sul costo di esercizio. Tutti questi fattori hanno limitato in quasi tutte le nazioni l'applicazione delle tecnologie di utilizzazione energetica della legna, ma nello stesso tempo hanno spinto i costruttori a studiare soluzioni tendenti a rendere competitive queste tecnologie in termini di resa energetica rispetto a quelle che prevedono i combustibili tradizionali.

Tecnologie per uso industriale

La combustione del legno per uso industriale può avvenire sostanzialmente con le seguenti tre tecnologie:

1. combustione in sospensione;
2. combustione su griglia che può essere fissa o mobile;
3. combustione in letto fluido.

La *combustione in sospensione* è stata notevolmente sviluppata ed impiegata in Italia nelle industrie di seconda trasformazione del legno. L'impianto consiste in un sistema di adduzione pneumatica del combustibile ridotto in granulometria molto fine, da alcuni μm a qualche mm, di un bruciatore e della caldaia. Il bruciatore, di tipo toroidale, è molto simile ai bruciatori per polverino di carbone. L'avviamento è realizzato in genere tramite combustibile tradizionale.

Il sistema è proponibile con buon successo per un'industria che sia in grado di disporre di combustibile molto fine e secco (umidità al di sotto del 15%), come la farina di legno. Inoltre è da considerare che la combustione in sospensione si adatta per turni di lavoro di otto ore, avendo un'inerzia trascurabile; ma presenta di contro l'inconveniente di essere scarsamente elastica. Il bruciatore essendo alimentato con sistema pneumatico è sottoposto a condizioni molto rigide sia per quanto riguarda la miscela combustibile-aria di trasporto, e quindi di comburente, sia per la velocità da impartire al combustibile per evitare ritorni di fiamma. Essendo il combustibile molto ricco di sostanze volatili la velocità di trasporto deve essere superiore alla velocità di accensione del combustibile.

Sulle griglie si deve posare solo ed esclusivamente il combustibile ridotto a cenere, mentre la cenere volante viene raccolta sul condotto dei fumi mediante sistemi depurativi, ad esempio cicloni. I rendimenti utili, che si riscontrano con funzionamento a carico economico (si definisce carico economico il carico termico del bruciatore in cui si riscontra il massimo del rendimento, generalmente tale carico si colloca intorno all'80 % di quello massimo), in alcuni impianti sono anche dell'85%, ma diminuiscono notevolmente con la riduzione o l'aumento del carico, con lo spostamento cioè dal carico economico.

Tra i vari sistemi di combustione per utenze industriali è senz'altro quello con costo di impianto più basso. Si ipotizza naturalmente di avere un combustibile la cui granulometria è idonea alla tecnologia utilizzata; infatti se si considera la necessità di dover impiegare dei mulini per il trattamento preventivo del combustibile, le taglie superiori ai 5 MW non sono certo le più convenienti per via dell'eccessivo costo energetico e di installazione del sistema di pretrattamento.

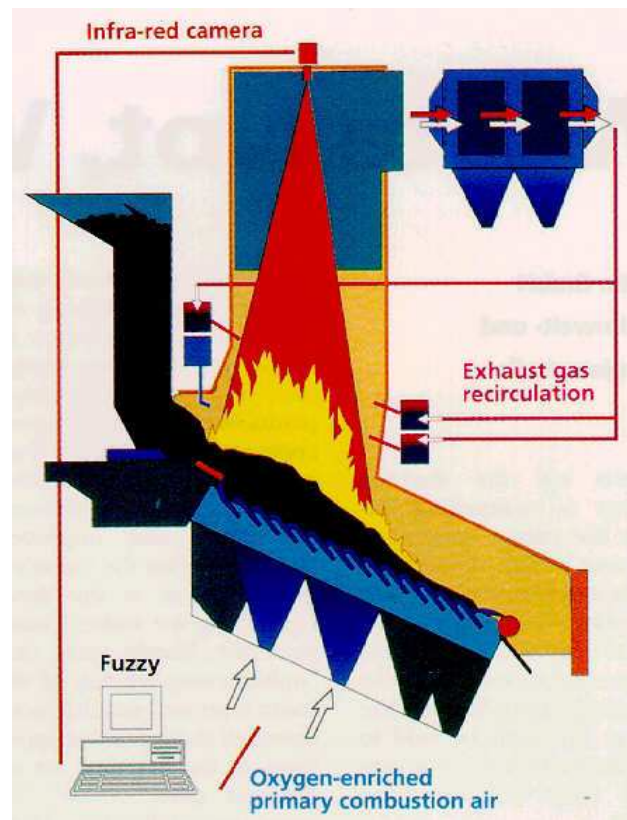
I costi di manutenzione sono invece notevolmente più elevati: bisogna considerare in genere un raddoppio rispetto ai sistemi a griglia meccanica. La ragione risiede nell'elevato tenore di ceneri che raggiunge le varie sezioni: dallo scambiatore al surriscaldatore, alla sezione convettiva, con eventuali problemi di incrostazioni e diminuzioni di efficienza. Questi fenomeni sono accentuati nel caso di produzione di vapore a media pressione (40-50 atm) in scambiatori a tubi d'acqua.

Il problema di impatto ambientale con questa soluzione è senz'altro più grave, rispetto ad altre, per l'elevato contenuto di polveri e la presenza di incombusti nei fumi fra cui idrocarburi aromatici.

La *combustione su griglia*, abbandonata in Italia subito dopo l'ultima guerra, è ritornata di attualità negli anni '70 - '80 a causa dell'elevato costo dei combustibili convenzionali. Dopo una prima fase in cui ci si è orientati verso soluzioni a griglia fissa, le innovazioni più recenti contemplano griglie mobili del tipo a oscillazione.

La *griglia fissa* viene generalmente utilizzata in impianti con potenze termiche non superiori al MW alimentati con combustibili a basso tenore di ceneri. I rendimenti non sono tra i più soddisfacenti, infatti si hanno elevate perdite di incombusti oltre che nei fumi, anche e soprattutto tra le ceneri, per via della necessità di scaricare le ceneri a velocità costante per permettere l'ingresso di combustibile fresco.

Figura 1. Impianto realizzato con il sistema Griglia ad Azione Inversa Martin, una griglia di combustione i cui gradini si muovono continuamente in senso verticale.



La necessità di dover pulire la griglia per consentire l'ingresso dell'aria attraverso gli orifizi, comporta il ribaltamento dei lunotti ed, essendo il funzionamento continuo, si scarica, oltre che cenere, anche combustibile non ancora bruciato.

La gestione di questi sistemi risulta molto onerosa rispetto agli altri. I rendimenti raggiungono valori intorno all'80%, i costi d'impianto si collocano tra quelli dei sistemi che prevedono la combustione in sospensione e quelli su griglia mobile. La regolazione della combustione viene generalmente effettuata agendo sulla temperatura del fluido vettore graduandone l'alimentazione, mentre risulta manuale la regolazione dei parametri di combustione (CO_2 , O_2 e fumosità) attraverso l'aria di combustione.

Il sistema a griglia presenta problemi di impatto ambientale paragonabili a quelli del sistema in sospensione.

Le *griglie mobili* risolvono tutti i problemi presenti nei dispositivi a griglia fissa.

Ne esistono diversi tipi, una classificazione semplificata distingue:

griglia a gradini, con oscillazione dei gradini o con ribaltamento;

griglia a tappeto o a catene, con lancio del combustibile o con caricamento a strato;

Le griglie a tappeto risultano sicuramente molto più adatte delle griglie a gradini per la regolazione della combustione e per la regolazione del carico di biomasse lignocellulosiche, anche se presentano l'inconveniente di avere un costo iniziale (1,5 - 2 volte il costo di una griglia a gradini a oscillazione, di pari potenzialità) e costi di esercizio superiori.

Con una griglia a oscillazione si può pensare di bruciare anche una "testata" di tronco d'albero, mentre su una a tappeto ciò è impossibile. I materiali delle griglie mobili sono in genere meno pregiati dei materiali delle griglie fisse in quanto queste ultime possono essere raffreddate con l'aria di combustione. I dispositivi a griglia mobile migliorano senz'altro la combustione dei combustibili legnosi, per cui il problema dell'impatto ambientale connesso all'emissione di inquinanti risulta ridotto. Inoltre effettuando una combustione a più stadi, con eccesso d'aria ridotto (intorno al 30 %) e a temperatura più bassa, la formazione di NO_x risulta maggiormente inibita rispetto ai sistemi a griglia fissa o con combustione in sospensione.

La *combustione in letto fluido* è tra le tecniche più recenti e più razionali per quanto attiene all'alimentazione con combustibili solidi. Il letto fluido è una tecnologia avanzata, che sostanzialmente risolve il problema delle emissioni inquinanti durante il processo di combustione. Nel caso degli NO_x ad esempio non vengono prodotti o comunque risultano talmente scarsi, da essere contenuti entro le 200 ppm in emissione. Inoltre l'elevato tempo di permanenza in camera di combustione, la distribuzione uniforme della temperatura ed il mescolamento perfetto fra fase solida e gassosa, garantiscono efficienze di combustione in alcuni casi anche superiori al 90 %.

Una efficienza di combustione così elevata comporta due effetti benefici:

- rendimenti energetici complessivi superiori agli altri sistemi;
- riduzione degli inquinanti nelle emissioni (CO, Idrocarburi superiori, etc.).

Le condizioni di fluidizzazione avvicinano questo tipo di combustione alla combustione di un gas o di un liquido, per cui l'elasticità al carico diventa confrontabile con i dispositivi alimentati ad olio combustibile o a metano. I sistemi più avanzati permettono variazioni nel carico da 5 a 1, senza apprezzabili perdite di rendimento.

Impatto ambientale derivante dalla combustione

L'inquinamento atmosferico varia sensibilmente a seconda dalla tipologia di sistema utilizzato.

Gli accorgimenti tecnologici adottati in questi ultimi anni hanno permesso di impiegare alcuni tipi di combustibile vegetale conseguendo buoni rendimenti energetici con soddisfacenti quantità delle emissioni.

Massima importanza assume la regolazione del rapporto combustibile/aria, (è necessario, per avere un basso tenore di emissioni, operare sempre in eccesso d'aria).

Il sistema di combustione con aria primaria e aria secondaria è quello più impiegato per assicurare una combustione completa.

Per migliorarne l'efficienza sono stati inoltre rivisti i criteri costruttivi delle canne fumarie, per ottenere il mantenimento del giusto gradiente termico e l'impiego di materiali che diminuiscono la deposizione di fuliggine.

Il regime termico che si determina nei camini ha influenza sulla formazione di composti inquinanti poichè è possibile avere reazioni fra i componenti dei fumi.

Negli impianti per uso industriale, accanto alle soluzioni tecnologiche che permettono di ridurre l'inquinamento (la doppia camera di combustione, la combustione a letto fluido), è possibile l'applicazione di sistemi di depurazione dei fumi (in modo tale da abbattere ulteriormente le emissioni), come ad esempio di filtri elettrostatici

Gassificazione delle biomasse vegetali

Introduzione

La tecnologia attualmente utilizzata per la gassificazione può ricondursi a quella realizzata nel periodo 1930-1945. I criteri tecnologici adottati allora ed anche oggi seguiti, risentono della impostazione tecnologica della gassificazione del carbon fossile, ampiamente sperimentata e che ha avuto realizzazioni industriali pienamente affidabili. E' da notare comunque come la gassificazione del carbone vegetale e dei materiali ligneo-cellulosici, in alcune nazioni europee (Svezia, Germania, Francia) ed extraeuropee (USA, Canada, Sudafrica), abbia ricevuto attenzione anche nei periodi di ampia disponibilità di energia da petrolio. Gli studi e le iniziative portate avanti, anche solo in via sperimentale, hanno permesso in queste nazioni di realizzare nuovi tipi di impianti di gassificazione di biomasse vegetali, quando la crisi petrolifera ha provocato un nuovo interesse sul possibile sfruttamento energetico di queste.

In Italia, nonostante che le conoscenze sulla gassificazione del carbone e dei materiali ligneo-cellulosici fossero negli anni trenta almeno pari a quelle delle altre nazioni, ogni studio è stato abbandonato ed il bagaglio tecnologico è stato in gran parte disperso. Solo negli anni '80 si è ritornati a considerare la gassificazione delle biomasse vegetali e, solo in questi ultimissimi anni, ci si è rivolti allo sviluppo della tecnologia; in precedenza, da parte delle poche industrie che vi si sono dedicate, si è preferito ripetere gli schemi tecnologici del passato.

Per quelle utilizzazioni per le quali si richiede un gas "pulito", ad esempio l'alimentazione di un motore a combustione interna per produzione di energia meccanica o elettrica, viene inserito, dopo il gassificatore un sistema di apparecchiature, per il raffreddamento e la depurazione del gas.

Meccanismo di gassificazione

La gassificazione delle sostanze lignocellulosiche consiste nella trasformazione delle stesse in una miscela gassosa combustibile (CO , H_2 , CH_4 , CO_2 , N_2) a basso potere calorifico, detta per questo gas povero, accompagnata da effluenti di scarto: ceneri e, in quantità ridotta catrami.

La composizione del gas (misurata in termini di percentuale in volume) può essere mediamente stimata come segue:

$$\text{CO} = 15 \div 20\%, \quad \text{H}_2 = 12 \div 18\%, \quad \text{CH}_4 = 2 \div 4\%, \quad \text{CO}_2 = 10 \div 13\%, \quad \text{N}_2 = 48 \div 55\%$$

Nella tabella 5 sono riportate alcune possibili composizioni del gas in rapporto al combustibile utilizzato.

Tabella 5. Frazione molare delle specie gassose ottenibili dalla massificazione di differenti tipi di biomassa [Fonte ENEA]

% vol	Tronchetti	Cippato	Gusci nocciole	Tronchetti + cippato
H ₂	16,6	15,6	16,6	16,9
CO	17,6	18,1	21,6	17,8
CH ₄	1,2	1,8	1,6	1,3
C ₂ H ₆	0,2	0,2	0,4	0,2
CO ₂	12,4	12,5	8,9	12,7
N ₂	49,9	51,1	47,3	50,0
O ₂	2,1	0,7	3,6	1,1

La gassificazione è costituita da quattro differenti processi termochimici: essiccazione, pirolisi, ossidazione riduzione.

Nel reattore si possono distinguere quattro diverse zone di reazione, relative ai quattro processi suindicati; la loro forma, spessore e disposizione sono legati alle caratteristiche tipologiche e geometriche del reattore, alla composizione chimica della biomassa, al contenuto di umidità, alla pressione, alla temperatura ed alla modalità e quantità di aria fornita al cuore della fornace.

Negli impianti funzionanti con flusso in equicorrente (che sono quelli di maggior interesse per questo studio), i quattro processi si presentano, procedendo dall'alto verso il basso, con il seguente ordine:

- essiccazione
- pirolisi
- ossidazione
- riduzione.

E' opportuno rilevare come, per quanto differenti, i quattro processi che costituiscono la gassificazione ne rappresentino fasi successive e sono, pertanto, fortemente interdipendenti. Per il raggiungimento di un equilibrio globale del processo è necessario che ciascuna fase si possa svolgere in maniera completa e regolare; alterazioni di uno solo di essi si ripercuotono, generalmente in maniera amplificata, su tutti gli altri con notevoli cali di rendimento di regolarità di funzionamento di tutto il sistema.

L'essiccazione è un processo termico che avviene a bassa temperatura ($70\div150^{\circ}\text{C}$) in cui si ha il progressivo riscaldamento della biomassa e l'eliminazione dell'umidità in essa contenuta mediante evaporazione dell'acqua liquida.

Il processo è di tipo endotermico e necessita di circa 600 kcal per ogni kg di acqua da far evaporare. Anche questo fenomeno partecipa all'equilibrio generale del processo di massificazione, nel senso che in caso si verificasse, per l'essiccazione una richiesta di energia termica troppo elevata alla zona di combustione, in quest'ultima si avrebbe una forte diminuzione della temperatura con il rischio di bloccare l'autosostentamento del processo. Per l'umidità il valore massimo accettabile è del 30% in peso della biomassa, valori superiori rischiano di bloccare l'autotermicità delle reazioni.

In tabella 6 sono riportati alcuni valori sperimentali ricavati su un gasogeno al variare del contenuto di umidità della biomassa. Si può constatare come l'umidità influenzi tutte le grandezze più importanti della massificazione, dalla composizione del gas, al consumo di biomassa.

La pirolisi è il secondo processo che si incontra nei reattori quando si procede alla gassificazione di sostanze lignocellulosiche.

Al di sopra dei $400\div500^{\circ}\text{C}$ hanno luogo un complesso di reazioni esotermiche ed endotermiche, ancora oggi poco conosciute, con le quali la struttura naturale del legno o della biomassa lignocellulosica viene modificata profondamente. Si ha formazione di vapor acqueo, metanolo, acido acetico, catrami e di un residuo solido che presenta una forte concentrazione di carbonio ed è quello che costituisce il cenero e proprio combustibile del processo di gassificazione.

Le indagini sperimentali condotte sembrano dimostrare che la pirolisi può considerarsi come un processo leggermente endotermico, con un calore di pirolisi variabile secondo il tipo di biomassa utilizzata. I valori oscillano da 47 Kcal/kg per il legno di pino a 25 Kcal/kg per il legno di quercio; come valore medio per una biomassa generica si può assumere $30\div35$ Kcal/kg.

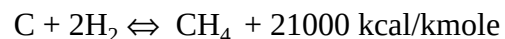
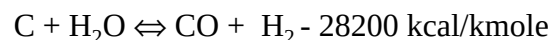
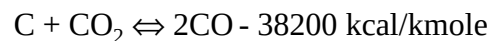
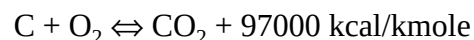
Il residuo solido derivante dalla pirolisi, ha un maggior contenuto di carbonio e un maggior potere calorifico della biomassa di partenza.

Tabella 6 Composizione del gas, potere calorifico e rendimento di un gasogeno Fritz Werner al variare dell'umidità della biomassa [Fonte GUMZ]

UMIDITA' P.C.I. Kcal/kg	0 4430	10 3927	20 3424	30 2921
Analisi del gas (secco)	21,04	16,50	12,02	6,83
% CO	9,99	12,68	15,24	17,88
% CO ₂	18,18	18,73	18,94	17,45
% H ₂	4,65	6,68	9,41	13,65
% H ₂ O	0,69	1,07	1,66	2,72
% CH ₄	45,45	44,34	42,73	41,47
% N ₂	22,07	17,68	13,27	7,91
Analisi del gas (umido)	10,48	13,59	16,82	20,71
% CO	19,07	20,07	20,10	20,21
% CO ₂	0,72	1,15	1,83	3,15
% H ₂	47,66	47,51	47,17	48,02
% CH ₄				
% N ₂				
P.C.I del gas Kcal/Nm ³	1161,6	1071,1	991,7	887,3
Rendimento di gassificazione	77,8	76,4	75,4	72,9

Il processo di ossidoriduzione è il fenomeno più importante che si verifica nella gassificazione, in quanto è proprio dal complesso interagire delle reazioni che hanno luogo nella zona di ossidoriduzione che è possibile poi la formazione del gas. In termini globali le reazioni chimiche¹ che si susseguono possono essere scisse in differenti categorie in funzione dei reagenti che vi prendono parte.

A. *reazioni del carbonio*

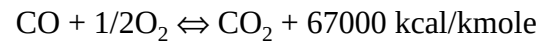
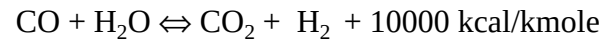
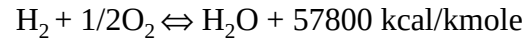


Si noti che, termodinamicamente, le reazioni di formazione del metano sono favorite da alte pressioni (avvengono con diminuzione di volume) e temperature relativamente basse (essendo esotermiche). Queste ultime sono condizioni operative in contrasto con quelle considerate ottimali per ottenere un buon rendimento di massificazione. Ne consegue che la concentrazione di CH₄ nel gas prodotto può essere considerata indice o di un completo reforming dei distillati del combustibile di alimentazione o, ancora peggio, di una temperatura troppo bassa nella zona di ossidoriduzione.

Nelle equazioni di reazione la tonalità che compare con il segno “positivo” indica una quantità di calore ceduta all’ambiente (reazione esotermica), il segno negativo, invece, indica una quantità di calore assorbita dall’ambiente (reazione endotermica)

¹Nelle equazioni di reazione la tonalità che compare con il segno “positivo” indica una quantità di calore ceduta all’ambiente (reazione esotermica), il segno negativo, invece, indica una quantità di calore assorbita dall’ambiente (reazione endotermica)

B. reazioni di ossidazione dei composti volatili



Reazioni di decomposizione degli idrocarburi e di reforming del metano:



Considerato a regime, il complesso delle precedenti reazioni è autotermico.

La biomassa di alimentazione, al suo ingresso nel reattore, subisce una prima fase di essiccazione e riscaldamento ad opera del calore sensibile del gas prodotto che la lambisce e ne innalza la temperatura sino a 100÷200°C; con l'avvicinamento alla zona di reazione vera e propria ha luogo la pirolisi della biomassa e, quando la temperatura ha raggiunto i 400÷500°C, si innescano le reazioni di ossidoriduzione che danno luogo alla produzione del gas e del calore parte del quale è necessario allo svolgimento delle reazioni endotermiche precedentemente illustrate.

Il concetto di temperatura di reazione in un gasogeno è di difficile inquadramento, poiché il gas presente al suo interno ha una temperatura diversa da quella del letto di biomassa in fase di reazione e quest'ultimo è caratterizzato (supposto il reattore di forma cilindrica), da un gradiente radiale e trasversale di temperatura.

Convenzionalmente ci si riferisce, allora, alla temperatura risultante da un bilancio termico della zona di reazione, ottenendo, così, valori dell'ordine dei 700÷800°C.

Schemi tecnologici attualmente adottati

Le tecnologie di gassificazione dei vari tipi di materiali ligneo-cellulosici, si differenziano:

- per il tipo di riscaldamento: diretto ed indiretto
- per tipo di reattore: a letto fisso, a letto fluido, a letto trascinato;
- per le caratteristiche costruttive del reattore: cioè per la sua geometria, per come avviene l'alimentazione del combustibile, per il percorso dei gas entro il reattore;
- per come viene realizzata la depurazione dei gas, quando necessaria.

Nei **gassificatori a riscaldamento diretto** il calore viene fornito dalla parziale ossidazione di parte della biomassa in aria o in ossigeno. Le temperature operative dei gassificatori a riscaldamento diretto derivanti da gassificatori per carbone sono normalmente molto elevate, raggiungendo temperature tra i 900 e 1.200 °C. Un vantaggio derivante dall'adozione di tali unità nella produzione di metanolo (o di idrogeno) è il relativo basso contenuto di idrocarburi rispetto a quelli operanti a bassa temperatura, con minore richiesta di reforming successivo.

I gassificatori a riscaldamento indiretto sono realizzati per sfruttare la maggiore reattività delle biomasse rispetto al carbone.

I modelli più avanzati sono attualmente ad uno stadio di sperimentazione precommerciale.

In generale il calore viene fornito dall'esterno mediante scambiatori di calore o mediante l'utilizzo di un letto inerte (sabbia) preriscaldato dall'esterno. Generalmente, insieme alla biomassa, viene immesso nel gassificatore del vapore. La temperatura che si raggiunge durante il processo è relativamente bassa, varia secondo il modello tra i 600 e i 1.000 °C, ma sufficiente alla gassificazione della biomassa.

Il gas prodotto è praticamente privo di azoto, in quanto non si ricorre all'ossidazione con aria per garantire l'apporto di calore al processo, e ricco di metano.

Il tipo di reattore maggiormente impiegato è quello verticale a letto fisso a riscaldamento diretto; anche se è bene evidenziare che tale definizione viene applicata a reattori che in effetti sono a letto discendente, in quanto il combustibile si muove lentamente dalla bocca di alimentazione al fondo del reattore, dove fuoriescono le ceneri. Nella terminologia anglosassone questo reattore viene chiamato spesso anche "moving bed".

Gassificatori a letto fisso

Sotto l'aspetto tecnologico si hanno tre tipi di reattori.

Tipo A – Gassificatori in controcorrente

Il gas fluisce in direzione opposta a quella di introduzione del combustibile che viene introdotto nella parte superiore del reattore: l'aria comburente entra dal basso, per cui si viene a creare una corrente ascensionale di gas.

Tipo B - Gassificatore in equicorrente

In questo sistema il gas fluisce nella stessa direzione del combustibile, che viene alimentato in testa al reattore, ed esce dal fondo passando sotto la griglia.

Il calore prodotto nella parte bassa si diffonde per moti convettivi verso l'alto, per cui, partendo dalla parte superiore del reattore, si realizza una prima zona di essiccamento seguita da una pirolisi, ove si ha la carbonizzazione del materiale.

Tipo C - Gassificatori a flusso trasverso

In questo caso il flusso dell'aria comburente e del gas sono perpendicolare alla direzione di immissione del combustibile, che avviene dall'alto.

Questo tipo di gassificatore ha trovato una limitata diffusione ed è adatto quando si effettuano ripetuti avviamenti e fermate durante la giornata; inoltre è preferenzialmente avviato alla combustione, in quanto è ricco di polverino e di catrami.

Vi sono però anche casi di utilizzazione per l'alimentazione di motori a combustione interna.

Gassificatori a letto fluido

Questo tipo di gassificatore è stato sviluppato nel corso dell'ultimo decennio, utilizzando le conoscenze acquisite nella fluidodinamica dei reattori impiegati nel cracking e nel reforming nelle raffinerie di petrolio e le conoscenze acquisite nei reattori di numerosi processi chimici.

Nella gassificazione del legno e dei suoi residui, il letto fluidificato dell'aria comburente introdotta e del gas prodotto è costituito da particelle di materiale inerte - granuli di silice, sferette di silicoalluminati e simili - alle quali vengono ad aggiungersi le particelle di materiale combustibile.

L'aria introdotta attraverso una griglia forata, che ha anche la funzione di sostentamento del materiale costituente il letto quando è in fase di stasi, ha velocità sufficiente a creare le condizioni per cui il letto si mantiene allo stato fluido.

Esempi pratici

Nella tabella 7 sono riportati i risultati comparati delle analisi del gas in uscita su tre tipologie di impianto di gassificazione:

- letto fluido ad aria, operante tra i 500 e gli 800 °C, velocità di fluidizzazione 0,25 m/s, materiale del letto: sabbia con dimensioni minori di 50 micron;
- a letto fisso in controcorrente ad aria;
- a letto fisso in equicorrente ad aria.

Dai dati in tabella 7 si può vedere come il gassificatore a letto fluido fornisce una maggiore variabilità di risultati. Ciò lo rende idoneo ad operare con più elasticità in varie condizioni di esercizio.

In figura 2.10 si riportano i quantitativi di catrame e di particolato contenuti nei gas per i vari tipi di gassificatore. Si può notare come la concentrazione di catrami nei gassificatori in controcorrente e a letto fluido o trascinato sia notevolmente più elevata che nei gassificatori in equicorrente e a flusso trasverso.

Tabella 7. Caratteristiche di gas da gassificatore (%)

	Letto fluido	Contro corrente	Contro corrente	Equi corrente	Equi corrente
Tipo di biomassa	Scarti legnosi ^a	Pino ^b	Faggio	Tronchetti ^c	Cippato ^d
H ₂	2,1 - 4,2	15	14,4	7,9	17,7
CO	9 - 17	21	20,9	19,9	15,3
CO ₂	7 - 18	11	11,2	11,9	12,9
CH ₄	0,7 - 2,2	1,2	1,9	2	2,1
CnHm	0,6 - 2,4	0,26	0,4	0,4	0,3
N ₂	60 - 75	50,44	51	47,3	49,7
O ₂	0,6	0,2	1	1,9	
P.c.i. (MJ/Nm ³)	2 - 5,5	4,9	5,5	5	4,8

a-c-d $\Rightarrow$ Gli scarti utilizzati per la gassificazione hanno la seguente composizione percentuale:

	a	c	d	
C	47,9	48,5	47,3	
H ₂	6	6	6,2	
O ₂	33	43,5	44,7	
N ₂	1,7	0,8	0,7	
H ₂ O	11	8,3	13,35	
ceneri	0,4	1,2	1,1	
pezzatura media (cm)		3	(cippato)	(tronchetti)

b Umidità tra 8 e 14 %, pezzatura media 5 cm.

Una alta concentrazione di catrami rende tali gas più adatti alla combustione in caldaia che ad essere utilizzati in motori a combustione interna.

L'eliminazione dei catrami può essere effettuata per condensazione a temperature molto inferiori a quelle di uscita dal gassificatore (ad esempio all'uscita di un controcorrente si hanno circa 300 - 400 °C, mentre in un letto fluido, dopo il ciclone, si possono avere ancora 800 °C).

In tal modo, però, si vengono a perdere i benefici della temperatura elevata dei gas. Per ovviare a tale inconveniente si stanno sviluppando filtri ceramici, adatti alle alte temperature, in grado di depurare il gas senza raffreddarlo.

La pirolisi o carbonizzazione

Introduzione

Durante la pirolisi o carbonizzazione, la sostanza ligneocellulosica viene riscaldata in un forno di varia forma in assenza di ossigeno, per evitare che si inneschi la combustione. In quest'atmosfera senza ossigeno le varie sostanze presenti si decompongono in una serie di prodotti, di cui il principale è una carbonella molto porosa (charcoal), costituita essenzialmente di carbonio elementare, da una quantità variabile di ceneri (0,5 - 6 % in base al tipo di biomasse), da sostanze catramose accumulate nei pori della carbonella. Oltre alla carbonella vengono prodotti vapori di pirolisi, o pirolegnosi, di cui una parte condensabile (olio di pirolisi) ed una parte incondensabile (gas di pirolisi a basso potere calorifico). La composizione dell'olio di pirolisi, ricco di acido pirolegnoso e acido acetico, e pertanto altamente corrosivo, ne vincola la possibilità di stoccaggio, rendendo consigliabile la combustione immediata. Per il gas, invece, il basso potere calorifico lo rende poco competitivo con altri combustibili. Per tali motivi, attualmente, i combustibili derivati dai sottoprodotti della pirolisi trovano utilizzo unicamente nel processo stesso o in processi collegati, quali la attivazione, per i quali non è necessario il trasporto o lo stoccaggio.

Il meccanismo della pirolisi o carbonizzazione

La legna o sostanze lignocellulosiche diverse riscaldate nel forno, attraversano varie fasi durante la loro conversione in carbone. Negli esperimenti in laboratorio, sono state riconosciute diverse fasi, in base alla temperatura:

- 20 - 110 °C La legna assorbe calore fino alla temperatura di circa 100 °C in cui avviene l'essiccazione. L'umidità contenuta nel legno si trasforma in vapore.
- 110 - 270 °C La legna continua ad assorbire calore. Le ultime tracce di umidità vengono eliminate e la legna comincia a decomporsi producendo monossido di carbonio, anidride carbonica, acido acetico e metanolo.
- 270 - 290 °C A questo punto si manifesta il fenomeno della decomposizione esotermica. Viene prodotto calore e la scissione continua spontaneamente, purchè la temperatura non scenda al di sotto di tale valore. I gas ed i vapori continuano ad essere prodotti. Inizia la produzione di catrame.
- 290 - 400 °C La scissione continua. Vengono prodotti gas incondensabili (monossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno e metano) e vapori condensabili (acqua, acido acetico, metanolo, acetone e catrame). Al crescere della temperatura la produzione di catrame diviene predominante.
- 400 - 550 °C A 400 °C la trasformazione della legna in carbone è praticamente terminata, ma la sua struttura contiene ancora tracce apprezzabili di catrame (fino al 30 %). Per eliminare il catrame si deve elevare la temperatura ad oltre 500 °C. In tal modo si arriva a garantire una quantità di carbonio fisso nella carbonella del 75 %.

Durante la carbonizzazione si verificano sostanzialmente due flussi di calore distinti: "verso" la legna e "dalla" legna. Il controllo di tali flussi influenza l'efficienza del processo e la qualità del prodotto.

Il calore in ingresso viene fornito dalla combustione di un combustibile. Generalmente tale combustibile è costituito da una parte dagli stessi vapori di pirolisi. All'avviamento del forno, per il riscaldamento della biomassa fino alla temperatura di innesco del processo spontaneo, si ricorre alla combustione di legna o di altri combustibili ausiliari.

Ipotizzando di dover carbonizzare una tonnellata di legna al 25 % di umidità relativa, da cui si producono 225 kg di carbonella, si possono distinguere tre fasi in cui si ha richiesta di calore:

1.incremento della temperatura fino a 110 °C per l'essiccazione della legna, si ha un consumo di circa 160.000 kcal per la vaporizzazione dell'acqua e 20.000 kcal per il riscaldamento del residuo secco;

2.incremento della temperatura da 110 a 270 °C per innescare il processo esotermico spontaneo di pirolisi, il consumo è di circa 30.000 kcal;

3.incremento finale di temperatura da 400 a 550 °C per permettere la liberazione della carbonella dal catrame, con un consumo di circa 11.000 kcal.

Si vede quindi che la maggior parte del calore fornito dall'esterno viene impiegato per la essiccazione della legna. Per tale motivo non risulta conveniente la carbonizzazione di legna verde (umidità alla raccolta prossima al 50%) o comunque umida, ma si preferisce legna stagionata, o residui a basso tenore di umidità.

Tecnologie di carbonizzazione

In Italia e negli altri paesi mediterranei la maggior parte del carbone prodotta artigianalmente è ancora prodotta con le carbonaie in elevazione, mentre nei paesi africani si trovano ancora carbonaie in fosse sul terreno, anche se vi sono tentativi di introdurre tecnologie più evolute, specialmente per aumentare i rendimenti e ridurre la distruzione dei boschi che si è verificata in alcune zone per l'improprio uso della legna da ardere e per fare carbone.

Una carbonaia in elevazione del tipo tradizionale, è ottenuta accatastando il legname e ricoprendo la catasta con terra battuta e zolle erbose; nella copertura sono praticati dei fori per far affluire l'aria e nel centro si lascia un condotto per lo sfogo dei gas. Il calore necessario alla pirolisi viene ottenuto con la combustione parziale della biomassa; la resa in carbone vegetale è circa il 20%. La produzione del carbone con questo sistema provoca un forte inquinamento atmosferico locale in quanto i fumi, nelle fasi che precedono la carbonizzazione vera e propria, sono ricchi di prodotti volatili e di catrami e, nelle ultime fasi, di CO.

Tentativi per ridurre le emissioni dannose sono state effettuate, ma questa rudimentale tecnologia non si presta a sostanziali miglioramenti, anche in considerazione che le carbonaie vengono impiantate nei boschi e non si può pensare a dispositivi di coinvogliamento dei fumi alla condensazione e alla raccolta dei prodotti, anziché alla dispersione nell'atmosfera.

I forni di carbonizzazione in mattoni permettono, date le dimensioni, una produzione elevata e buoni rendimenti, ma anch'essi non hanno alcun dispositivo atto a ridurre l'inquinamento. L'inquinamento ambientale risulta molto forte, sia per il tenore di CO e di particolato nell'aria, sia per la ricaduta dei condensabili sul terreno.

Non consta che allo stato attuale siano state studiate modifiche per migliorare la situazione ambientale, forse in considerazione del fatto che le zone dove si produce il carbone sono abbastanza distanti dai villaggi, anche se l'inquinamento va a danno del personale addetto alla lavorazione. I due processi di carbonizzazione sono stati qui riportati a solo titolo di notizia storica. Un impianto industriale moderno non potrebbe comprendere uno stadio del tipo illustrato.

Per quanto riguarda il processo continuo, i forni di carbonizzazione sono sostanzialmente di tre tipi: forni verticali, forni tubolari rotanti, forni a tunnel. Fra i forni verticali si è affermato il tipo Lambiotte che ha il caricamento dall'alto e lo scarico dal basso; la biomassa caricata può avere un contenuto di umidità abbastanza elevato in quanto vi è una prima zona ove avviene l'essiccamento. I gas di pirolisi, che vengono estratti ad una altezza mediana del forno, vengono raffreddati, il calore sensibile viene impiegato per produrre vapore o per riscaldare la biomassa caricata in un essiccatore che precede il forno di pirolisi, quando si debba usare un materiale con tenore di umidità molto alto, come si ha con legna proveniente direttamente da esbosco. Nel forno Lambiotte, i gas di pirolisi che hanno ceduto il loro calore, vengono reimmessi nel forno stesso per raffreddare il carbone prima dello scarico e passano nella zona superiore ove arriva aria comburente e bruciano per fornire il calore necessario al processo. La tecnologia Lambiotte ha un fattore di emissione relativamente basso, in quanto non vi è scarico all'esterno di catrami e all'atmosfera vengono inviati soltanto gas combustibili; vi è tuttavia una certa quantità di condensati acquosi che debbono essere avviati a sistemi di trattamento.

L'alimentazione dei forni Lambiotte deve essere fatta con materiale di pezzatura omogenea né molto grossa, né molto fine. La dimensione massima è di circa $2,5 \text{ dm}^3$ (ad esempio quelle di un cilindro di altezza di 30 cm e diametro 10 cm), mentre la minima è di circa $0,1 \text{ dm}^3$ (dimensione all'incirca di un pacchetto di sigarette). Un altro tipo di forno verticale è quello sviluppato dalla Bio-Alternative. A differenza del "Lambiotte" questo tipo di forno verticale non risente dei problemi riguardanti la pezzatura del materiale in ingresso, essendo stato sviluppato per la carbonizzazione di scarti agro-forestali di piccola taglia, da 2 a 100 mm. Rispetto ai forni artigianali, i forni industriali tipo il "Lambiotte" hanno una resa energetica notevolmente maggiore. Dalla carbonizzazione in "cumulo" si ottengono da 60 a 120 kg di carbonella per tonnellata di legna, che possono elevarsi a 170 kg con i forni a cupola. Da un forno industriale, invece, si ricavano da 225 a 250 kg di carbonella per tonnellata di legna. Ancora più significativo è il confronto energetico. La carbonella ottenuta dalla carbonizzazione in "cumulo" risulta inquinata da varie sostanze, nonché dalla terra stessa che ricopre il cumulo, pertanto il potere calorifico risulta di circa 5.500 kcal/kg. Con i forni "a cupola" si arriva a 6.700 kcal/kg avendo eliminato molte impurità.

Da un forno industriale si ricava carbonella pregiata con 7.500 kcal/kg di potere calorifico, oltre a circa 1.000.000 di kcal di vapore piroleghoso.

L'adozione di forni industriali riduce inoltre la manodopera dalle 20 unità per tonnellata/giorno (t/d) di carbone prodotto per la carbonizzazione in "cumulo", a rispettivamente 8 ed 1 unità t/d per forni "a cupola" e industriali.

Gli impianti dotati di forni tubolari rotanti si prestano per la carbonizzazione di materiali sia in pezzatura fine, sia in pezzatura grossolana: i criteri costruttivi sono del tutto analoghi a quelli dei forni per cemento e dei forni di calcinazione. Il riscaldamento è generalmente ottenuto per invio in controcorrente di fumi di combustione: come combustibile si impiega gas naturale o lo stesso gas di pirolisi. Nel forno si hanno, in successione, una zona di essiccamento, una di pirolisi e una di carbonizzazione. Il carbone prima di essere scaricato deve essere raffreddato altrimenti si incendierebbe: ciò si effettua nello stesso forno creando un'ultima zona di raffreddamento o meglio ancora, inserendo dopo il forno dei tamburi rotanti raffreddati ad acqua e dei convogliatori ai silos di immagazzinamento.

I forni rotanti possono essere di grosse dimensioni per la produzione di alcune migliaia di t/a o forni relativamente piccoli che si prestano anche ad un facile smontaggio e al rimontaggio in altra località.

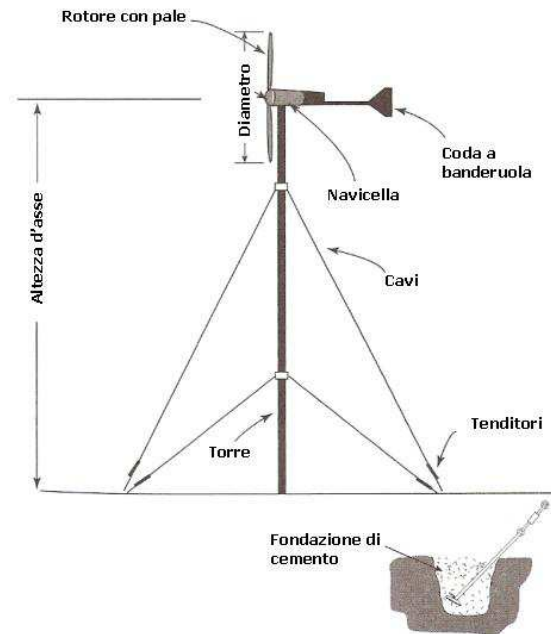
Ultima tecnologia da esaminare è quella del forno a tunnel. Il forno a tunnel presenta alcune difficoltà costruttive in quanto occorre creare all'interno del tunnel delle zone isolate l'una dall'altra in tal modo si riesce a far evolvere gradualmente la pirolisi. Ciò comporta l'inserimento di paratoie che debbono aprirsi e chiudersi man mano che la carica del combustibile procede nel tunnel. L'unico impianto di taglia industriale che impiega tale tecnologia è in Italia ed è quello realizzato dall'ACTICARB.

Mega turbina off-shore da 10 MW

La società statale norvegese Enova ha stanziato 137 milioni di corone (circa 17 milioni di euro) per la realizzazione della più grande turbina eolica off-shore installabile in mare aperto. Si tratta di un prototipo messo a punto dalla società Sway della potenza di 10 MW e provvisto di un rotore di 145 metri di diametro. La turbina una volta costruita sarà testata per due anni sulla terraferma, prima di essere installata nel Mare del Nord. A differenza della maggior parte degli impianti eolici che poggiano direttamente sul fondale (fino a profondità massime di 60-70 metri) la turbina Sway è galleggiante e può essere posizionata in mare aperto anche con fondali di alcune centinaia di metri. La differenza è sostanziale dal punto di vista della generazione elettrica, poiché in Norvegia, ad esempio, a circa 50 km dalle coste (dove i fondali hanno tipicamente profondità variabili fino a 300 metri) i venti sono di circa il 25% più forti e più costanti rispetto alle aree ove sono state finora realizzate le maggiori centrali, distanti fino ad un massimo di 15 km dalle coste. La spinta di galleggiamento della nuova turbina è data dal fatto che la grande torre di sostegno è internamente cava, e si estende al di sotto della superficie dell'acqua con una zavorra nella parte inferiore che gli dà stabilità sufficiente per resistere alla spinta dei venti. Un sistema di ancoraggio, provvisto anche di tiranti, fissa la struttura sul fondo del mare, permettendo però alla torre sia di inclinarsi di alcuni gradi, sia di ruotare su se stessa, in modo da sfruttare meglio la forza dei venti e, nello stesso tempo, di ridurre le eccessive tensioni strutturali. Grazie a queste caratteristiche la turbina Sway risulta essere più efficiente in termini produttivi e meno costosa in termini di gestione operativa. Il sistema è stato progettato per resistere a condizioni estreme del mare. Secondo il progettista Sway ha una durata di almeno venti anni ed è in grado di reggere l'impatto di un'onda anomala di oltre trenta metri.



Microgeneratori Eolici



Il generatore eolico, pur se in diverse taglie, è costituito quasi sempre dagli stessi componenti. Una torre supporta la turbina eolica, sollevandola all'altezza necessaria per il corretto funzionamento. Generalmente più in alto è posizionato il generatore eolico, più è veloce il vento e quindi maggiore è la potenza ottenibile. Tipicamente le altezze variano da 18 a 30 metri. La torre eolica può essere autosupportante, o più spesso ci sono dei cavi che la mantengono in posizione, essendo questa la soluzione più economica.

Il rotore comprende le pale all'esterno ed il generatore o alternatore all'interno. Sull'asse dal lato del vento è posto un cono che ha la funzione di fornire una superficie aerodinamica alla vena fluida. La navicella contiene il generatore o alternatore e protegge tali componenti dagli agenti atmosferici.

Il generatore eolico è dotato di coda a banderuola che ha il compito di tenere il rotore puntato verso il vento. Alcuni modelli di aerogeneratore presentano un sistema di protezione che consente di rallentare la velocità delle pale in condizioni pericolose. Tale funzione, detta *furling*, è molto importante in caso di regimi di vento molto scostanti con punte molto di velocità molto elevate.

Napoli

2009: La Campania è ferita a morte. Città e paesi invasi da cumuli di immondizia; spazzatura che deraglia per le strade, invade i portoni, appesta i quartieri. E la spazzatura «democratica» non risparmia neanche Napoli. La capitale partenopea è stata prigioniera dei rifiuti per settimane e settimane : nelle strade seimila tonnellate di rifiuti e colonne di immondizia alte 5 metri. Mancano le discariche. Ma i Comuni non le vogliono nei loro territori, in quanto inquinanti per mancanza di manutenzione. In un contesto simile l'urgenza è stata quella di ripulire la città e di rimandare a tempi migliori i ragionamenti sul differenziato riciclabile. Davanti allo spettro del colera o di altre epidemie, dovute alle devastanti condizioni igieniche dei « giacimenti » di immondizia, la parola d'ordine è stata : « Ripulire la città », magari caricando navi o treni di immondizia e portarla in luoghi capaci di smaltirla.

Ma i problemi non finiscono qui : il caso Campania è monitorato da tempo dalla Commissione Europea e su di lei grava una multa che va dai 22 mila ai 700 mila euro al giorno per non aver osservato le norme di procedura per i rifiuti urbani. E' stata una lotta contro il tempo: si dovevano smaltire 7200 tonnellate di rifiuti, produzione giornaliera e 250 mila di tonnellate di arretrato. Tutto in un una regione con discariche sature e senza un solo termovalorizzatore.

Percolato

Il percolato è il complesso di prodotti della decomposizione della sostanza organica ad opera dei batteri e dell'estrazione, per azione solvente dell'acqua (meteorica o già contenuta nei rifiuti), dei contaminanti organici e inorganici; esso si presenta come un liquido di colore scuro, dall'odore nauseabondo e con indice di inquinamento superiore a quello dei normali scarichi urbani. Giuridicamente il percolato è “ un liquido che si origina prevalentemente dall'infiltrazione di acqua nella massa dei rifiuti o dalla decomposizione degli stessi”. Nell'ambito poi del CER (Elenco Europeo dei Rifiuti), “il percolato di discarica è un rifiuto speciale pericoloso o non pericoloso a seconda che contenga o no sostanze pericolose”.

L'impianto di trattamento deputato alla “depurazione”, dovrà pertanto munirsi delle necessarie autorizzazioni per l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero.



Pompe fotovoltaiche : il fotovoltaico che disseta



Sembra che le vie del solare siano infinite. Nel 1973 una terribile siccità iniziò a colpire tutta la fascia del Sahel, provocando migliaia di morti per fame e sete. Duramente colpito anche il Mali, dove un missionario, padre Bernard Verspieren, non aveva intenzione di assistere con le mani in mano al flagello. Decise di fondare l'associazione "Mali Aqua Viva", attraverso la quale lanciò il più vasto programma di perforazione di pozzi mai vista in quelle regioni dell'Africa. Gli amici lo prendevano bonariamente in giro dicendo che dall'acqua santa era passato all'acqua potabile! Per raggiungere la falda acquifera però i pozzi dovevano andare in profondità. Le pompe necessarie a portare in superficie l'acqua funzionavano a mano o a pedali, perchè non esisteva una rete elettrica. Intanto a Parigi una studentessa del Politecnico, Dominique Campana, stava svolgendo il suo dottorato di ricerca proprio sulla possibilità di costruire pompe alimentate con celle fotoelettriche. La giovane non si limitò a gettare i presupposti teorici di una pompa fotovoltaica, ma si ingegnò per costruirne un prototipo, che sperimentò in una zona arida della Corsica: "La pompa riesce a estrarre l'acqua - scriveva trionfante nel suo resoconto - per 300 pecore e per l'attività agricola". Verspieren venne a conoscenza dell'esperimento e andò a controllare di persona. Il suo commento fu: "Vedere corrente elettrica prodotta senza parti in movimento, senza combustibile, senza un impianto nè un tecnico necessario a controllarlo bastò a convincermi. Fu amore a prima vista". L'anno successivo, il 1977, Verspieren mise in funzione la sua prima pompa fotovoltaica in Mali, arrivando col tempo a installarne 127, e il programma non si è mai fermato, tanto che nel 2010 l'associazione "Mali Aqua Viva" vanta l'attivazione di oltre 4000 pozzi con pompe fotovoltaiche. Verspieren, morto nel 2003, è considerato in Mali eroe nazionale. Dominique Campana è diventata dirigente dell'Ufficio Affari internazionali dell'Agenzia per l'ambiente e l'energia francese.

Solare Fotovoltaico

Il solare fotovoltaico è una tecnologia che permette la conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica.

Esistono attualmente tre tipologie fondamentali di moduli fotovoltaici che differiscono per stato di aggregazione del silicio, con differenti efficienze di conversione e costi:

silicio monocristallino: si tratta di una cella di colorazione blu scuro uniforme, con modulo rigido adatto a tutti gli usi soprattutto per interventi su edifici già costruiti (interventi di retrofit);

efficienza	12-14%
superficie orientativa occupata da 1 kW di FV	8 mq
costo orientativo a Watt	4,6 Euro



Silicio amorfo: in questo caso la cella di colorazione blu scuro uniforme, con modulo rigido o flessibile. La superficie di silicio amorfo può essere incollata su differenti superfici (anche curve) e si presta molto bene per sostituire elementi costruttivi.

efficienza	6-8%
superficie orientativa occupata da 1 kW di FV	16 mq
costo orientativo a Watt	6,7 Euro



Per quanto riguarda la resistenza alle sollecitazioni degli agenti atmosferici, nei test i moduli vengono sottoposti ad una pressione di 250 kg/m^2 , se devono sopportare l'azione del vento, o di 550 kg/m^2 , se devono resistere ad accumuli di neve o di ghiaccio; inoltre sono "testati" per la grandine mediante bombardamento con sfere di ghiaccio di diametro pari a 4,5-7,5 cm, lanciate con velocità di 110-140 km/h. I moduli FV sono, quindi, molto affidabili e non richiedono una frequente manutenzione, la sporcizia e la polvere che si accumulano si possono rimuovere semplicemente con l'ausilio di acqua.

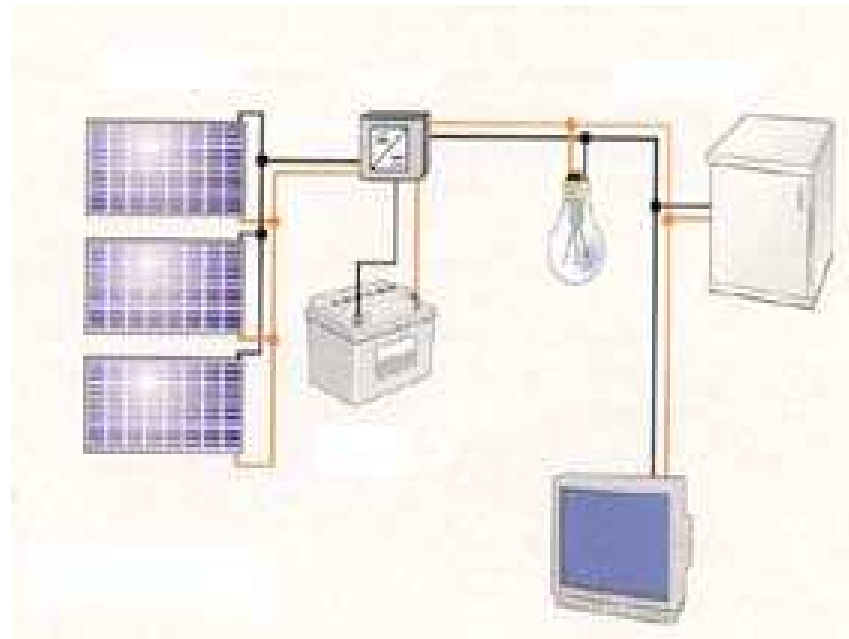
Al fine di garantire un corretto funzionamento dell'impianto, un sistema fotovoltaico necessita, oltre che dei moduli stessi, di alcuni componenti ausiliari: apparecchi di regolazione della potenza, cavi elettrici, ecc. L'insieme di tali componenti prende il nome di BOS (Bilance Of System); ed è necessario un controllo con cadenza annuale per questi ausiliari dell'impianto fotovoltaico. Un impianto fotovoltaico è quindi costituito dall'insieme dei moduli e del BOS.

Non si hanno ancora moltissimi dati sulla durata degli impianti, ma la maggior parte delle aziende costruttrici moltissimi fornitori garantiscono l'impianto FV per 20-25 anni.

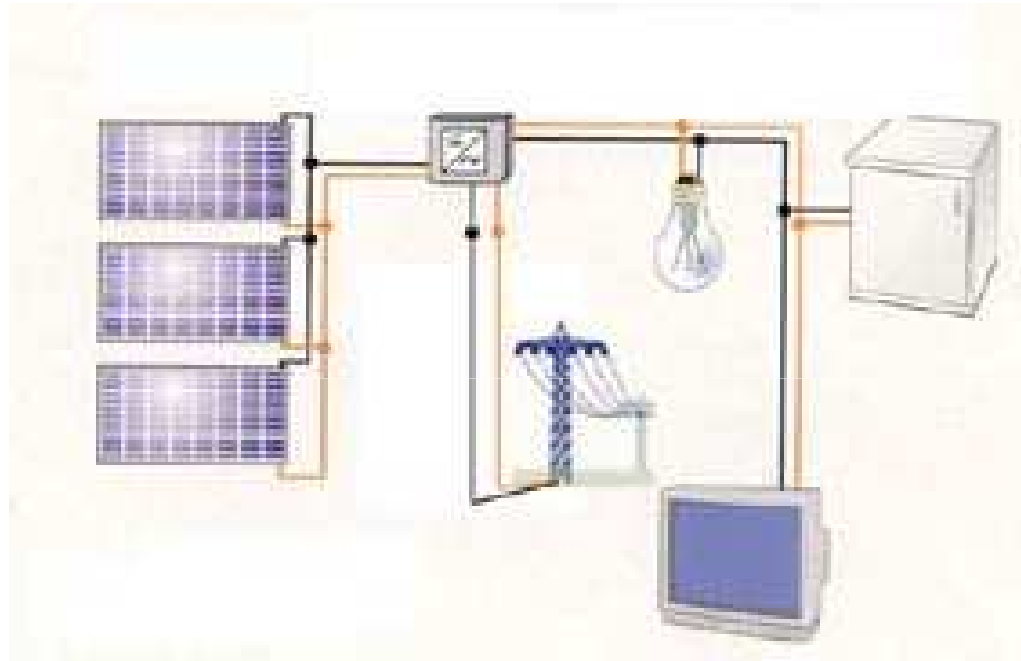
Impianti fotovoltaici

Gli impianti FV si distinguono in due categorie principali in funzione del tipo di accumulo utilizzato.

1. **Impianti isolati**, sono impianti FV dove non è presente la rete elettrica e l'accumulo si effettua tramite l'utilizzo di batterie.



2. **Impianti connessi alla rete**, sono impianti FV in zone urbane, nei quali la corrente continua prodotta viene convertita in corrente alternata (tramite un inverter) e viene immessa nella rete elettrica. Quindi in questo caso è la rete stessa che funziona da accumulatore: **impianti connessi alla rete**



I sistemi collegati alla rete presentano, rispetto a quelli isolati, il vantaggio dell'assenza del sistema di accumulo a batterie; ciò implica una maggiore affidabilità, una minore manutenzione, ed un minor impatto ambientale in fase di utilizzo, che, nei sistemi isolati, è dovuto alla periodica sostituzione e conseguente smaltimento delle batterie. In realtà un confronto tra i sistemi isolati e quelli collegati in rete non è del tutto corretto, in quanto le due tipologie di impianto sono destinate a situazioni completamente differenti. In caso, infatti, di installazione di un sistema fotovoltaico in una zona in cui è presente la rete elettrica, è più conveniente installare un sistema collegato in rete al fine di evitare la presenza delle batterie con tutti i problemi che ne conseguono. Se la zona in esame è lontana dalla rete elettrica ed il suo prolungamento comporterebbe difficoltà economiche e di impatto visivo, allora la soluzione di un impianto isolato con sistema di accumulo è senza dubbio da preferire.

Impianti FV collegati alla rete

All'interno della categoria dei sistemi collegati alla rete si può operare un'ulteriore distinzione tra **centrali FV di potenza** e **sistemi integrati negli edifici**. Le prime presentano una potenza installata piuttosto elevata (da alcune centinaia di kW a qualche MW) e sono adatte ad una produzione generalizzata di energia elettrica che viene poi immessa nella rete nazionale o locale.

Il secondo tipo di impianti, invece, è caratterizzato da potenze più basse (da qualche kW fino alle decine di kW) e si tratta di impianti preposti a soddisfare la domanda energetica delle utenze su cui sono installati. Gli impianti integrati negli edifici, utilizzano i tetti o le facciate dell'edificio come superfici di base per i moduli fotovoltaici, quindi non rappresentano un ingombro in pianta. Il sistema stesso non introduce nessun impatto dovuto all'occupazione di nuove superfici, come invece accade per le centrali FV, che necessitano di molto spazio. Inoltre nelle centrali i moduli FV sono posizionati in terra e le file di moduli devono essere opportunamente distanziate per evitare il loro ombreggiamento reciproco. Ciò comporta che l'area occupata da una centrale FV è circa il doppio rispetto alla sua area utile. I sistemi integrati negli edifici producono energia elettrica esattamente dove viene richiesta, con una notevole riduzione delle perdite di distribuzione dell'elettricità che in una rete possono arrivare al 7-10 % dell'energia trasportata. Inoltre, una parte dei materiali utilizzati nelle strutture portanti che caratterizzano una centrale FV di potenza può essere risparmiata utilizzando le strutture portanti dell'edificio su cui sono installati; analogamente una parte dei materiali di rivestimento dell'edificio può essere sostituita dai moduli fotovoltaici. Spesso i moduli FV possono essere utilizzati come elementi multifunzionali, ossia capaci non solo di generare energia, ma anche di svolgere altri ruoli nella gestione dei flussi energetici tra l'edificio e l'ambiente. Un esempio è fornito dai moduli FV *frangisole* che si comportano come delle vere e proprie tende da appartamento, che schermando il sole, riducono il carico termico sugli ambienti interni dell'edificio permettendo un risparmio sulla climatizzazione. Un altro esempio è costituito dai moduli ibridi *fotovoltaico-termici*.

I sistemi collegati alla rete elettrica ed integrati negli edifici

I sistemi collegati in rete intraprendono, con la rete stessa, uno scambio di energia bidirezionale. La rete supporta l'impianto nei periodi in cui le richieste dell'utenza eccedono la produzione da fonte solare, ed accetta l'energia in eccesso prodotta dal sistema fotovoltaico. Il conteggio dei flussi di energia nelle due direzioni avviene mediante due contatori. L'attuale legislazione in Italia prevede che i kWh di energia elettrica che l'impianto FV immette in rete vengano scalati dalla bolletta (*sistema di net-metering*). Questo permette di avere un dimensionamento più elastico dell'impianto, infatti non è necessario che il sistema FV soddisfi interamente la domanda energetica dell'utenza, poiché la rete agisce come un accumulo di capacità illimitata. Ciò permette di basare il dimensionamento dell'impianto su altri parametri, come ad esempio la superficie disponibile su una certa posizione della copertura dell'edificio o il budget iniziale disponibile per l'investimento.

La trasformazione della corrente continua in uscita dal generatore in corrente alternata, che dovrà alimentare le utenze o la rete, avviene tramite un dispositivo statico chiamato *inverter*. Questo dispositivo, oltre alla fondamentale funzione di rendere disponibile corrente alternata, assicura che l'energia immessa sia di alta qualità. Inoltre gli inverter sono dotati di sistemi automatici in grado di disconnettersi dalla rete in caso di guasto o cattivo funzionamento, in modo da proteggere sia la rete elettrica che l'impianto fotovoltaico.

Le tipologie architettoniche degli impianti fotovoltaici

Gli impianti FV in architettura possono essere classificati a seconda della loro tipologia, quelle più diffuse sono di seguito riportate.

Tetto piano: i moduli vengono montati su strutture di supporto diverse da quelle dell'edificio. Il sistema può essere disposto in maniera ottimale, tale che la sua resa energetica sia massima, ma l'effetto estetico è mediocre.



Tetto inclinato: i moduli sono montati sul tetto inclinato dell'edificio, il loro orientamento e la loro inclinazione non sono liberi e la resa energetica può non essere ottimale; migliora effetto estetico non essendo necessarie strutture di supporto.



Facciata: le facciate degli edifici offrono grandi superfici e la possibilità di realizzare impianti con elevata valenza estetica; il lato negativo di questa soluzione architettonica è il basso valore dell'energia solare che, alle nostre latitudini, raggiunge una superficie in facciata rispetto ad una inclinata.





Frangisole: i moduli sono posti in facciata ma non verticalmente, bensì con una certa inclinazione, ai fini di realizzare uno schermo per i raggi del sole in corrispondenza di posizioni alte sull'orizzonte.



Lucernari: i moduli sono utilizzati come copertura dei lucernari presenti sui tetti; l'inclinazione non è ottimale per la produzione di corrente elettrica.

Efficienza di conversione di un impianto FV

L'efficienza globale di conversione di un impianto FV è il prodotto tra l'efficienza dei moduli e quella del BOS. Le definizioni sono le seguenti:

Efficienza di conversione dei moduli FV

L'efficienza di conversione di un modulo FV è il rapporto tra l'energia elettrica in corrente continua ai suoi morsetti e l'energia solare che incide sulla superficie del modulo stesso (tab.3)

Tabella 3. Efficienza dei moduli

<i>MATERIALE</i>	<i>EFFICIENZA MODULO</i>
<i>Silicio cristallino</i>	<i>10 – 15 %</i>
<i>Silicio amorfo</i>	<i>4 – 7 %</i>

Efficienza di conversione del BOS

L'efficienza di conversione del BOS è il rapporto tra l'energia elettrica disponibile in corrente alternata alle utenze e l'energia elettrica in corrente continua ai morsetti di un modulo e varia tra il 75 e l'85% (include l'efficienza dell'inverter ed altri fattori di perdita, come ad esempio le perdite nei cavi elettrici di collegamento).

Energia prodotta da un sistema fotovoltaico: esempio di calcolo

L'unità di misura impiegata per la potenza fotovoltaica installata è il Watt di picco (W_p). La potenza di picco è quella che il sistema è in grado di erogare quando esso opera in condizioni standard:

densità di potenza dell'energia solare $1000W/m^2$;

temperatura delle celle fotovoltaiche $25\text{ }^{\circ}C$;

spettro della radiazione incidente AM 1,5

Lasciando da parte la terza condizione eccessivamente tecnica, è interessante porre l'attenzione sulla densità di potenza e sulla temperatura. Quando queste due caratteristiche sono differenti dai valori standard, la potenza in uscita dal sistema è differente da quella di picco, in particolare la potenza elettrica in output decresce al diminuire dell'irraggiamento al di sotto dei $1000W/m^2$ ed all'aumentare della temperatura al di sopra dei $25\text{ }^{\circ}C$. Le condizioni standard sono difficilmente riscontrabili durante il funzionamento reale di un sistema: il valore di $1000W/m^2$ è infatti circa pari al valore massimo dell'irraggiamento sulla superficie terrestre, in più i moduli esposti alle radiazioni solari tendono a riscaldarsi superando la temperatura di $25\text{ }^{\circ}C$.

Il valore della potenza di picco è pertanto solo un valore di riferimento, perché l'energia prodotta varia sensibilmente con le condizioni reali di esercizio. Per evidenziare il carattere indicativo della grandezza "potenza di picco", è sufficiente calcolare l'energia prodotta annualmente da un impianto di 1 kW_p .

Nella tab. 4 sono riportati i dati relativi a tre località italiane rappresentative di nord, centro e sud; si sono ipotizzate inoltre una efficienza del 15 % per i moduli (silicio monocristallino) ed una efficienza del BOS dell'80%. Nei tre casi i moduli sono orientati verso sud ed inclinati di 30° sull'orizzontale.

Tabella 4. Dati di insolazione ed energia in c.a. prodotta per tre località italiane

<i>Località</i>	<i>Insolazione (kWh/m^2/anno)</i>	<i>Energia prodotta in c.a. (kWh/anno)</i>
<i>Milano</i>	<i>1372</i>	<i>1098</i>
<i>Roma</i>	<i>1737</i>	<i>1390</i>
<i>Trapani</i>	<i>1964</i>	<i>1571</i>

Si nota come la stessa potenza installata abbia una capacità di produzione di elettricità diversa a seconda del sito di installazione.

Se il consumo di un'abitazione monofamiliare varia tra 3000 e 4000 kWh/anno, un sistema FV, installato ad esempio a Roma, dovrebbe avere una potenza compresa tra 2 e 3 kW_p per soddisfare i bisogni dell'utenza. Con gli attuali valori di efficienza dei moduli in commercio, tale potenza corrisponde ad una superficie occupata pari a circa 15-20 m² per moduli in silicio monocristallino.

I benefici energetici e ambientali ottenibili da ciascun kW di picco installato a Roma sono orientativamente riportati nella tabella 5:

Tabella 5. Benefici energetici e ambientali ottenibili da ciascun kW di picco installato a Roma

POTENZA DI PICCO INSTALLATA	1 kW _p
Superficie	10 mq
INCLINAZIONE OTTIMALE	30 gradi
ORIENTAMENTO OTTIMALE	0 gradi sud
Energia annua prodotta	1412 kWhel /anno
Energia primaria risparmiata	3910 kWh/anno
Tempo di vita medio	30 anni
Emissioni annue evitate	di CO ₂ /anno
Alberi equivalenti	104 alberi

Le emissioni di CO₂ evitate in un anno con l'installazione di 1kWp a Roma corrispondono alla quantità di CO₂ fissata da 104 alberi.

Considerazioni economiche

La barriera principale alla diffusione dei sistemi FV è costituita senza dubbio dagli elevati costi dell'investimento iniziale. I costi di esercizio e di manutenzione sono invece molto limitati, grazie alla notevole semplicità ed affidabilità delle apparecchiature utilizzate, che non hanno parti in movimento; inoltre il costo del combustibile, l'energia solare, è praticamente nullo.

Nell'ambito del programma nazionale di riduzione dell'anidride carbonica nell'atmosfera, **il Programma "Tetti Fotovoltaici", finanziato dal Ministero dell'Ambiente (MAMB)** (Decreto del 16 marzo 2001), è finalizzato alla realizzazione nel periodo 2000 - 2002 di impianti fotovoltaici (FV) di taglia compresa tra 1 e 20 kW_p, collegati alla rete elettrica e integrati nelle strutture edili (tetti, terrazze, facciate, elementi di arredo urbano).

Il programma è stato organizzato in tre sottoprogrammi:

- Il primo è rivolto ai soggetti pubblici (Comuni capoluogo di Provincia, Comuni facenti parte di aree protette, Province, Università ed Enti nazionali di ricerca);
- Il secondo è indirizzato, attraverso le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano, ai soggetti pubblici e privati per l'installazione di impianti FV di taglia compresa tra 1 e 20 kW_p;
- Il terzo si riferisce ad impianti di elevata qualità architettonica integrati in edifici pubblici di taglia compresa tra 30 e 50 kW.

Tutti i soggetti interessati possono beneficiare di un contributo pubblico in conto capitale.

Fasi e caratteristiche dei sottoprogrammi:

Per i soggetti privati (cittadini e imprese)

- Le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano, che gestiranno le risorse messe a disposizione dal MAMB più una quota propria di co-finanziamento, dovranno pubblicare un bando rivolto ai soggetti privati e pubblici;
- Le domande di contributo dovranno essere presentate alle Regioni;
- Il contributo dello Stato (Ministero + Regioni) sarà pari al 75% del costo d'impianto (IVA esclusa).
- Il costo massimo riconosciuto per impianti di potenza compresa tra 1 e 5 kW è fissato in 8.005,08 Euro (IVA esclusa) per kW; per impianti di potenza superiore, e comunque fino a 20 kW, detto costo scende progressivamente fino a 7.230,39 Euro per kW.

Per i soggetti pubblici

- Contestualmente alla pubblicazione del decreto d'impegno dei fondi, il MAMB ha pubblicato un bando rivolto ai soggetti pubblici;
- le domande di finanziamento saranno presentate al MAMB;
- dopo la verifica tecnica il MAMB assegnerà le risorse ai soggetti beneficiari in due fasi: 50% al momento dell'approvazione del progetto, 50 % dopo il collaudo dell'impianto;
- il contributo sarà pari al 75% del costo degli impianti (IVA esclusa).

Per impianti di elevata qualità architettonica

- Il MAMB ha pubblicato un bando rivolto ai soggetti pubblici per questa tipologia;
- Le domande di finanziamento saranno presentate al servizio IAR del MAMB;
- Il contributo dello Stato sarà pari all'85% del costo degli impianti (IVA esclusa);
- Il costo massimo riconosciuto è fissato in 12.911,42 Euro per kW installato.

Il costo di un impianto fotovoltaico dipende non solo dai moduli fotovoltaici, ma anche da tutte le parti che costituiscono il BOS, si prenderà come esempio di un progetto di massima di un impianto fotovoltaico ubicato nel Nord Italia per un utente privato che consuma 6.000 kWh/anno, in grado di soddisfare il 50% dei consumi.

L'impianto solare per la produzione di energia elettrica avrà potenza di picco 2.880 Wp e sarà costituito essenzialmente dalle seguenti apparecchiature: il campo fotovoltaico installato su un'apposita struttura ancorata sul tetto (oppure sul terrazzo, in cortile, ecc.) rivolto verso Sud con un'inclinazione di circa 36°, costituito da n. 24 moduli in silicio (specificare se monocristallino o policristallino) da 120 Wp suddivisi in n. 4 stringhe collegate in parallelo, ciascuna da n. 6 moduli fotovoltaici collegati in serie:

- L'inverter di potenza adeguata che sarà installato all'interno nei pressi del quadro elettrico generale;
- gli interruttori di protezione e i conduttori di collegamento e di protezione.
- Considerando il costo dell'impianto solare descritto pari a $8.000,00 \text{ Euro/kWp} \times 2,88 \text{ kWp} = 23.040,00 \text{ Euro} + \text{IVA } 10\% = 25.344,00 \text{ Euro}$, detratto il contributo regionale massimo di 17.290,00 Euro, la quota a carico dell'utente privato risulta 8.054,00 Euro.

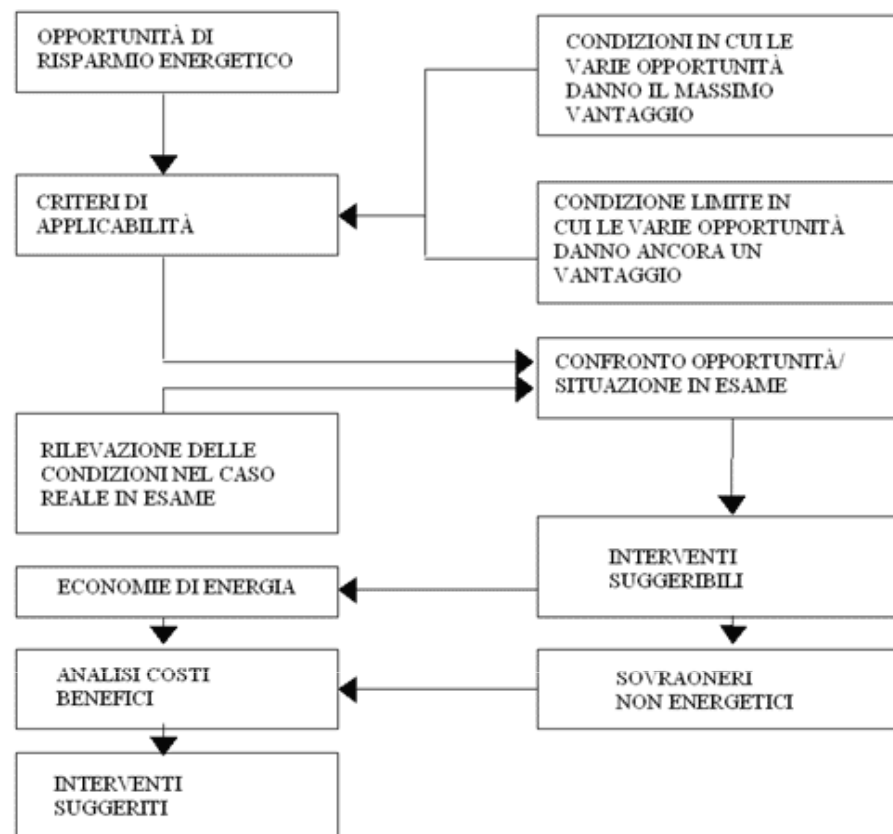
Ipotizzando che l'utente abbia a disposizione tale cifra e che rinunci ad un investimento bancario che frutta circa 160,00 Euro/anno (2% di interesse netto), visti gli oneri di misurazione di 30,00 Euro/anno e valutando il costo medio dell'energia elettrica per uso domestico pari a 0,25 Euro (l'impianto solare "taglia" le fasce di consumo più costose), l'utente risparmia $0,25 \text{ Euro} \times 3.000 \text{ kWh} = 750,00 - 160,00 - 30,00 = 560,00 \text{ Euro}$ all'anno.

Il tempo di ritorno dell'investimento risulta circa quindici anni, trascorsi i quali l'utente guadagnerà circa 720,00 Euro all'anno per la rimanente parte di vita presunta dell'impianto solare che si può stimare di quindici anni. Quindi l'utente guadagnerà complessivamente circa 10.800,00 Euro in trent'anni e soprattutto avrà contribuito a ridurre l'inquinamento atmosferico e lo sfruttamento delle fonti energetiche fossili tradizionali non rinnovabili. Si capisce così perché in altre nazioni quali Germania, Giappone e USA gli impianti solari fotovoltaici connessi in rete siano già molto diffusi e sia previsto un notevole sviluppo anche in Italia: 10.000 tetti fotovoltaici nei prossimi tre anni. La convenienza potrebbe risultare ancora maggiore nel caso in cui l'utente privato fosse ubicato nel Centro o nel Sud Italia, oppure se potesse usufruire della detrazione fiscale dall'Irpef del 36% della parte dei costi che non beneficia dei contributi regionali.

La gestione e l'uso razionale dell'energia

Uso razionale dell'energia

L'uso razionale dell'energia può essere definito come quella operazione tecnologica con la quale si intende conseguire l'obiettivo di realizzare gli stessi prodotti o servizi (in quantità e qualità) con un minor consumo di energia primaria ed eventualmente con un maggior impegno di risorse d'altro tipo (capitale, lavoro, materiali, ecc.). Questa definizione distingue l'uso razionale dell'energia dal sacrificio energetico, che è invece un'operazione economico-sociale con la quale si intende incentivare gli utenti (con la propaganda, con le tariffe, con il razionamento) a modificare le loro abitudini di consumo nel senso di soddisfare i propri bisogni finali con modalità che comportino minori consumi di energia primaria. In questo caso quindi il servizio offerto è di qualità diversa. Si configura dunque un'operazione di riallocazione delle risorse volte ad ottenere una data finalità. Qualunque progetto ingegneristico è concettualmente riconducibile a questo luogo decisionale, in cui le varie soluzioni offerte dalla tecnologia si incontrano per confrontarsi fra loro, in termini di rese, di rendimenti e di costi specifici. E' lasciato all'esperienza del progettista dare alle varie realizzazioni un assetto tale che per ciascuna di esse si abbia un dato consumo di energia ed un correlato consumo di strutture, consumi che si tradurranno poi, nei conti economici, in costi-energia e costi-capitale. Risparmiare energia comporterà, a parità di condizioni economiche, un maggiore costo capitale e viceversa. Per ogni situazione economica esisterà un rapporto ottimale fra questi due costi che darà luogo al conseguimento dello stesso risultato col minor onere monetario: in tempi di elevati costi dell'energia si cercherà di razionalizzare il consumo di energia e si abonderà in oneri capitale e viceversa in tempi di energia a buon mercato rispetto al costo dei manufatti e del capitale. Queste considerazioni impongono al progettista un lavoro di analisi che può risultare delicato perché privo dell'assistenza e della guida di un'esperienza precedente. Questa, infatti, può non essere disponibile in quanto la variazione dei prezzi dell'energia può avvenire in maniera troppo rapida perché i vari adeguamenti tecnologici possano ricevere il confronto e la conferma da parte dei risultati ottenuti. E' quindi importante una diffusione delle conoscenze energetiche affinché le varie soluzioni di razionalizzazione dei consumi energetici proponibili in proposito possano essere esaminate dai tecnici. Nel diagramma che segue, sono indicati i principali passi logici che portano da un uso razionale dell'energia visto come *opportunità all'intervento*, che permette di conseguire in termini effettivi tale risparmio.



Aspetti legislativi in materia di uso razionale dell'energia

Da un punto di vista legislativo la voce uso razionale dell'energia si può considerare come una vera e propria fonte energetica. Le norme in materia fanno riferimento principalmente alle leggi N. 9 del 9 gennaio 1991 e N. 10 sempre del 9 gennaio 1991. La legge N. 9 è così intitolata: "Norme per l'attuazione del nuovo piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali". Gli aspetti più rimarchevoli della legge sono espressi dagli Art. 20, 22, 23, 29 e 31. Tra essi, ad esempio, l'Art. 31 istituisce il marchio "Risparmio Energetico" per gli apparecchi domestici e per i sistemi di illuminazione ad alto rendimento. La legge N. 10 è così intitolata: "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

L'Art. 1 definisce finalità e ambito di applicazione della legge, favorendo e incentivando:

l'uso razionale dell'energia.

il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo di manufatti.

l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia.

la riduzione dei consumi specifici di energia nei processi produttivi.

la sostituzione degli impianti nei settori a più elevata intensità energetica.

Ai fini della citata legge sono considerate fonti rinnovabili di energia o assimilate le seguenti:

- sole
- vento
- energia idraulica
- risorse geotermiche
- maree e moto ondoso
- trasformazione di rifiuti organici, inorganici e vegetali

Sono considerate, inoltre, fonti di energia assimilate alle rinnovabili le seguenti:

- la cogenerazione, intesa come produzione combinata di energia elettrica o meccanica e calore.
- il calore recuperabile dai fumi di scarico, impianti termici, elettrici e da processi industriali.
- i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti.

In un certo senso, dunque, ***l'uso razionale dell'energia può essere considerato come una vera e propria fonte energetica rinnovabile.***

Stato dell'arte

Per descrivere i principali interventi di razionalizzazione energetica è conveniente identificare quei settori degli usi finali dell'energia, nei quali tali interventi risultano maggiormente vantaggiosi.

Consumi di energia per riscaldamento e preparazione di acqua calda sanitaria nel settore civile

Molte delle tecnologie innovative ritenute alcuni anni fa in grado di fornire un apprezzabile risparmio energetico nel settore del riscaldamento e della produzione di acqua sanitaria (collettori solari, pompe di calore, cogenerazione diffusa, ecc.) hanno in realtà trovato grossi ostacoli ad affermarsi sul mercato, anche a causa della scarsa economicità di gestione. Si è assistito pertanto, a partire da paesi quali Francia, Germania, Olanda, ad un rilancio tecnologicamente qualificato dei generatori di calore a combustibili tradizionali e all'introduzione di sistemi di contabilizzazione individuale e di telegestione delle centrali termiche. È così nata una serie di componenti avanzati, con elevate prestazioni energetiche, in grado di far fronte a tutta una gamma di impieghi domestici e terziari, quali ad esempio:

- caldaie murali a gas con produzione di acqua calda sanitaria;
- caldaie a condensazione a gas di piccola e grande taglia, aventi a regime un rendimento fino al 105-106% rispetto al p.c.i. (95-96% rispetto al p.c.s.);
- caldaie tradizionali con rendimenti a regime superiori al 90% rispetto al p.c.i. ("caldaie ad alto rendimento");
- caldaie a legna ad alta efficienza;
- gruppi termici a gasolio con bruciatori con fiamma blu (fumosità zero);
- sistemi affidabili di contabilizzazione individuale; sistemi di telegestione per centrali termiche

Naturalmente i costi per lo sviluppo e la messa in produzione di un componente tecnologico avanzato si riflettono in un maggior prezzo iniziale rispetto ai componenti tradizionali, costi che tuttavia potrebbero abbattersi con una serie combinata di azioni quali la promozione industriale, l'ampliamento della normativa e la diffusione dell'informazione tra le utenze residenziali e terziarie.

Uso razionale dell'energia su scala urbana: il teleriscaldamento e la metanizzazione

La razionalizzazione energetica trova nei centri urbani, uno dei maggiori bacini potenziali di intervento. In questo quadro va preso in considerazione il patrimonio tecnologico disponibile e in particolare il teleriscaldamento (TR), particolarmente adatto, come insegna l'esperienza, per interventi a scala di quartiere coordinati con la pianificazione urbana. Il TR è già in se stesso una tecnologia fortemente legata al fattore spaziale, visto che la sostanza di questo modo di provvedere al riscaldamento sta nel distanziamento del punto di produzione del calore dal punto di fruizione, che è l'edificio. È questo distanziamento che permette di utilizzare il combustibile in modo più concentrato e tecnicamente più avanzato (caldaie a maggior rendimento, cogenerazione di energia elettrica e calore), con vantaggio sia energetico sia ambientale. In pratica con il TR si tende ad ottenere una soluzione impiantistica aggregata che sia appropriata rispetto al fattore territoriale e nello stesso tempo sia in grado di attuare determinate possibilità tecnologiche. Il distanziamento implica la distribuzione del calore (come acqua calda) attraverso una apposita rete sistemata sottoterra, a bassa profondità (una specie di acquedotto caldo) e non più come combustibile per il rifornimento delle caldaie di edificio. Vi è dunque anche un vantaggio di decongestionamento della città, in quanto vengono eliminati molti centri di combustione, con relativi problemi di inquinamento e di sicurezza e vengono evitate anche molte corse di autobotti per il rifornimento del gasolio. È chiaro che anche nella centrale di cogenerazione vi sarà un'emissione inquinante, ma la situazione è assai diversa sotto l'aspetto del controllo della combustione, della presenza di filtri, della funzione del camino, ecc. Non c'è solo, dunque, un discorso di risparmio energetico, dunque, ma c'è un vero e proprio servizio tecnologico energetico su scala urbana. Una soluzione infrastrutturale del problema della distribuzione del calore agli edifici può essere ottenuta, oltre che con il TR, anche con la distribuzione con rete di metano destinato alla combustione tal quale. Occorre tuttavia tener conto di differenze importanti tra le due soluzioni. Assumendo il gasolio come soluzione "convenzionale", verifichiamo il grado di vantaggiosa innovazione che possiamo conseguire con i due tipi di servizi a rete, cioè TR e metanizzazione tal quale. Il TR rispetto alle caldaie a gasolio, realizza tre innovazioni:

1. si distribuisce acqua calda, invece che combustibile, con alleggerimento della necessità di intervento diretto (auto-servizio) da parte degli utenti;
2. l'attuale rete distributiva del calore nella città, realizzata soprattutto attraverso le corse di autobotti che trasportano gasolio, viene materializzata e stabilizzata — sottoterra — come rete fissa di tubi (acquedotto caldo), con doppio vantaggio di recupero di una quota dello spazio pubblico di superficie e di fornitura a contatore;
3. la produzione di calore avviene con un processo più avanzato, con vantaggio energetico ed ambientale.

La metanizzazione, da parte sua, realizza pienamente una sola di queste tre innovazioni, cioè la seconda, con relativi vantaggi e realizza inoltre una parte sostanziale del vantaggio ambientale, grazie all'impiego di una fonte in sé pulita, come il metano. Non è il caso, in ogni modo, di contrapporre TR e metanizzazione, che vanno tutti e due impiegati per risolvere il problema energetico urbano. Si può comunque dire che laddove, per le condizioni d'utenza, territorio, ecc., il TR si presenta urbanisticamente ed economicamente fattibile, conviene realizzarlo. Nelle situazioni di minore concentrazione edilizia o comunque non adatte al TR conviene puntare sulla metanizzazione.

Uso razionale dell'energia nel terziario

Il problema dei consumi energetici nell'edilizia adibita ad attività terziarie si presenta particolarmente interessante a causa degli elevati consumi specifici ad essa relativi in termini di energia primaria; essi sono da imputarsi principalmente al condizionamento e all'illuminazione artificiale degli ambienti, e risultano fortemente condizionati dal tipo di vetratura adottata. La ricerca energetica ha, per lungo tempo, posto un rilievo decisamente maggiore al problema dei consumi legati al riscaldamento degli edifici piuttosto che ai consumi imputabili al condizionamento e all'illuminazione artificiale.

La minore attenzione dedicata finora a questi consumi è parzialmente giustificata dalla diffusione degli impianti di condizionamento in Italia, decisamente scarsa se rapportata alla corrispondente diffusione in altri paesi industrializzati.

Questa scarsa diffusione comporta principalmente due conseguenze:

- l'incidenza sui consumi energetici nazionali è meno sensibile di quanto si verifica per il riscaldamento;
- il problema non è così evidente e quotidiano per tutti com'è invece il problema del riscaldamento degli ambienti e dell'acqua calda per usi sanitari, anche perché il tipo di utenza interessato è quasi esclusivamente il settore terziario.

Si vede che l'incidenza del condizionamento è decisamente rilevante, né può essere trascurata, ai fini di un intervento di razionalizzazione, la voce relativa all'illuminazione artificiale. Il tipo di utenza terziaria

che sembra più adatta ad un'analisi più approfondita dei flussi energetici e che presenta i più convenienti rapporti tra costi di intervento e benefici conseguibili è quella relativa agli edifici adibiti ad uffici. Questo è dovuto a diversi fattori: la maggiore incidenza, specifica (costo annuo a metro cubo) ed assoluta, delle spese di gestione (riscaldamento, condizionamento, illuminazione artificiale); la grande sensibilità degli utenti alla qualità dell'ambiente di lavoro; la possibilità, nel caso di retrofit, di inserire a bilancio le spese relative, come un delineato investimento di capitale, con precisi tempi di ammortamento.

Applicazioni e potenzialità

Nella prima fase di attuazione degli interventi di razionalizzazione dell'uso dell'energia, questi erano molto semplici, soprattutto perché erano macroscopici gli sprechi; con il passare del tempo, però, essi sono diventati sempre più complessi e costosi.

Attualmente assumono importanza crescente gli interventi pubblici di finanziamento ed incentivazione, così da coprire le spese per ricerche e studi in tecnologie avanzate. Le possibili forme d'intervento sono rimaste, invece, pressoché invariate; nel caso in esame, le principali sono le seguenti:

- *razionalizzazione degli usi finali*
- *miglioramenti tecnologici*
- *recupero e risparmio energetici*
- *diversificazione delle fonti*

Energia termica

Tenuto conto delle diverse condizioni di consumo, si possono distinguere due gruppi di utenze per l'energia termica:

- utenze per le quali i consumi sono variabili in funzione delle condizioni climatiche (impianti di riscaldamento e di ventilazione)
- utenze per le quali il consumo di energia è costante durante l'anno (cucine, produzione di acqua calda sanitaria).

La corretta gestione della produzione di energia termica costituisce un passo fondamentale per l'uso razionale dell'energia. In generale si possono individuare i seguenti livelli di intervento, in relazione agli investimenti necessari agli interventi stessi:

- interventi che possono essere eseguiti con investimenti modesti o nulli; tra questi si riportano, a titolo di esempio, i seguenti:
 - interventi per migliorare l'isolamento termico del fabbricato;
 - interventi, a costo praticamente nullo, di manutenzione, atti ad aumentare il rendimento ed a diminuire i consumi;
 - interventi di miglioramento o sostituzione di componenti impiantistici considerati minori.
- interventi che, comportando investimenti consistenti, impongono la consulenza di personale specializzato; tra questi si possono indicare:
 - interventi di una certa rilevanza economica, che prevedono la ristrutturazione di intere parti della struttura
 - interventi sulla centrale termica, per ottimizzare i rendimenti (caldaie modulari)
 - installazione di pompe di calore e/o di impianti di cogenerazione
 - interventi che incidono sull'organizzazione dell'intera struttura, sulla gestione degli impianti e sull'amministrazione generale.

Accanto ad interventi mirati, è di primaria importanza l'ottimizzazione dei contratti di fornitura dell'energia termica (e/o del combustibile), insieme alla contemporanea ottimizzazione del contratto di fornitura elettrica. L'esperienza dimostra che con gli interventi standard più frequentemente necessari, si possono ottenere risparmi dell'ordine del 20%. I valori di riferimento variano soprattutto con la diversa posizione geografica e climatica.

Energia elettrica

In genere, gli interventi di uso razionale dell'energia di questa forma di energia possono essere in qualche caso meno importanti di quelli riferiti al risparmio di energia termica. Tuttavia risulta che siano realizzabili risparmi tra il 10% ed il 30% con i seguenti interventi:

- *rifasamento dei carichi elettrici;*
- *ottimizzazione dei contratti;*
- *ottimizzazione della distribuzione dell'energia;*
- *economia di illuminazione* (mediante interventi mirati in fase di progettazione e di esercizio).

Appare opportuno, infine, evitare la produzione di calore mediante elettricità (riscaldamento elettrico per la cucina e per la produzione di acqua calda sanitaria, ecc.), collegando questi sistemi all'impianto termico, oppure installando piccoli elementi che provvedono al riscaldamento istantaneo dei volumi di acqua di cui abbisognano gli utenti.

Importanza dell'Energy Management

L'energia deve essere gestita in modo consapevole e con criteri tecnico-scientifici rigorosi, affinché possa portare a miglioramenti significativi dal punto di vista economico ed ambientale. La legge 10/91, attuativa del *Piano Energetico Nazionale*, per la prima volta ha istituito la figura del *Tecnico responsabile per la conservazione e la gestione dell'energia* (o *Energy Manager*), di fondamentale importanza per la corretta gestione del settore energetico di complessi industriali o terziari, pubblici o privati, che hanno consumi annui di entità rilevante. Le funzioni che l'Energy Manager deve ricoprire vengono definite nell'art. 19 della legge 10/91 e sono qui di seguito riportate sinteticamente:

- individuazione delle azioni, degli interventi, delle procedure e di quanto altro necessario per promuovere l'uso razionale dell'energia;
- predisposizione dei bilanci energetici in funzione anche dei parametri economici e degli usi finali;
- predisposizione dei dati energetici eventualmente richiesti dal Ministero dell'Industria ai soggetti beneficiari dei contributi previsti dalla legge stessa.

Come si è detto, la valutazione della convenienza di realizzare o meno qualsiasi intervento di risanamento energetico, deve essere fatta applicando un metodo scientifico, valutando tutti i fattori tecnico-economici che entrano in gioco nel bilanci energetico di ciascun impianto.

Costi

Si è detto che per razionalizzazione energetica s'intende quella operazione tecnologica che si ripromette l'obiettivo di ottenere la stessa produzione di beni e servizi con il minor consumo di energia, eventualmente a fronte di maggiori oneri d'altra natura. In generale, infatti, il risparmio energetico non è un'operazione gratuita, ma può comportare:

- una maggiore attenzione di esercizio;
- un maggior onere d'investimento;
- una minore flessibilità d'impianto;
- una maggiore contaminazione ambientale.

Un razionale atteggiamento in proposito sarà quello di ricercare, per ciascun caso, il miglior compromesso fra il vantaggio energetico e le suddette controindicazioni. La tematica in esame è sostanzialmente diversa a seconda che sia volta all'ottimizzazione del consumo di energia elettrica oppure termica: in generale può dirsi che è più difficile ottenere un risparmio nel primo caso, rispetto al secondo. Molti provvedimenti, vantaggiosi dal punto di vista energetico complessivo, comportano un relativo maggiore dispendio di energia elettrica: basti pensare alle pompe di calore e al teleriscaldamento, che sono tecniche nelle quali, a fronte di un'economia di calore, insorge un nuovo consumo di energia elettrica (o termica). Il punto di partenza di ogni seria operazione di razionalizzazione energetico è una rigorosa contabilità energetica, in sede sia di progettazione degli interventi, che di verifica ad impianti realizzati o modificati. Per dichiarare conveniente un intervento è necessario indicare su quale specifico consumo agisca e verificare, a livello di sistema, tutte le sue conseguenze, calcolandone attentamente l'importanza. Il puro e semplice confronto fra i livelli di consumo riscontrati prima e dopo l'intervento non è sufficiente a permettere la formulazione di giudizi definitivi: infatti i consumi energetici complessivi dipendono da molti fattori (come il carico di lavoro degli impianti, la distribuzione temporale del fabbisogno energetico, le condizioni ambientali), la cui accidentale variazione può, in alcuni, casi dare effetti più rilevanti di quelli ascrivibili al provvedimento adottato. Esistono molte possibilità di utilizzazione razionale dell'energia già a partire dalla scelta della fonte cui attingere e dall'impianto di captazione e conversione ritenuto più idoneo al caso specifico, senza prescindere ovviamente dagli oneri economici relativi alle successive politiche di intervento sugli impianti in attività, ad esempio di tipo manutentivo. Nella pratica, non è scontata la corrispondenza tra beneficio energetico e beneficio economico ed allora è da considerare che non si ritiene di interesse un intervento che, pur realizzando un vantaggio energetico, non comporti anche un ritorno economico. È proprio l'aspetto economico a costituire il più delle volte un freno alla libera espansione sul mercato di sistemi energetici ad alto rendimento e del tutto innovativi rispetto a quelli convenzionali. La realizzazione di un intervento di uso razionale dell'energia comporta quasi sempre un investimento economico, la cui convenienza deve essere preventivamente valutata a fronte del "valore" del risparmio energetico ottenibile; si tratta in sostanza di determinare quanto "costa" risparmiare energia. Diverse tecniche di analisi permettono di ricavare indici di efficienza economica legati alle diverse strategie di razionalizzazione energetica, tra le quali il calcolo del costo dell'unità di combustibile risparmiata, il calcolo del risparmio netto attualizzato e del tempo di pay-back di un dato investimento. Nei vari settori degli usi finali energetici, soprattutto in quelli civili, purtroppo, manca ancora una cultura diffusa del risparmio energetico. Ciò implica costi energetici superiori a quelli altrimenti ottenibili con un migliore utilizzo delle risorse. Ad esempio, l'adozione delle tecnologie di misurazione dei consumi e della qualità della fornitura elettrica può fruttare risparmi del 20%-30%, cui vanno aggiunti i risparmi ulteriori generati dalla riduzione dei guasti.

Fonti legislative per gli incentivi sull'uso razionale dell'energia

L'attuazione del Piano Energetico Nazionale, che ha avuto luogo in Italia con l'emanazione della legge 10/91, ha dato origine ad una politica di incentivi per l'Uso Razionale dell'Energia. Tali incentivi, negli anni successivi, sono poi stati rinnovati con le Leggi Finanziarie. I finanziamenti previsti sono soprattutto di competenza regionale; in particolare l'art. 12 della legge 537/93, ascrive alla gestione regionale i finanziamenti previsti dall'art. 11 della citata legge 10/91. Questo articolo prevede finanziamenti per impianti con potenze superiori a 10 MW termici o a 3 MW elettrici, relativamente a studi di fattibilità e progetti esecutivi di impianti civili e industriali o misti. Anche la concessione e l'erogazione dei contributi previsti dagli articoli 8, 10 e 13 è delegata alle Regioni, che operano secondo direttive impartite dal Ministero dell'Industria (uniformità di criteri, procedure e modalità). Gli interventi incentivati dai suddetti articoli sono sintetizzati nella seguente tabella:

Art.	Settore di intervento	Tipo di intervento
8	interventi finalizzati alla riduzione del fabbisogno energetico degli edifici	A. coibentazione degli edifici esistenti B. installazione di nuovi generatori di calore ad alto rendimento. C. Installazione di gruppi di cogenerazione. D. Installazione di pompe di calore per il riscaldamento ambiente o di acqua sanitaria E. installazione di impianti fotovoltaici per la generazione di energia elettrica F. installazione di sistemi di controllo integrati e di contabilizzazione dei consumi di calore. G. trasformazione di impianti centralizzati di riscaldamento in impianti unifamiliari a gas H. installazione di sistemi di illuminazione ad alto rendimento anche in aree esterne
10	contenimento dei consumi energetici nei settori: industriale, artigianale e terziario	• utilizzo di fonti rinnovabili • migliore rendimento di macchine e apparecchiature • sostituzione di idrocarburi con altri combustibili • realizzazione di trasporti fluviali di merci
13	contributi relativi alla produzione di energia nel settore agricolo	• realizzazione di impianti termici di potenza < 10 MW • realizzazione di impianti elettrici di potenza < 3 MW

La Cogenerazione

Per cogenerazione di energia si intende la generazione di energia elettrica ed energia termica nella stesso processo di generazione: si recupera il calore a valle del processo di produzione di energia elettrica.

I sistemi di cogenerazione sono ottimi mezzi di recupero e risparmio energetico: dal 60% al 100% di risparmio di combustibili fossili a seconda delle tipologie di impianto e necessità energetiche.

Dai sistemi di cogenerazione derivano i più recenti sistemi di trigenerazione dove, nel periodo estivo o qualora sia richiesta energia frigorifera, il calore recuperato può essere trasformato in energia frigorifera grazie all'impiego del ciclo frigorifero ad assorbimento il cui funzionamento si basa su trasformazioni di stato del fluido refrigerante (acqua) in combinazione con la sostanza (bromuro di litio) utilizzata quale assorbente.

I sistemi di co-trigenerazione possono essere studiati e prodotti per funzionare con qualsiasi fonte primaria di calore

Questi sistemi oggi sono tecnicamente maturi ed economicamente convenienti per poter essere adottati diffusamente, tra le molteplici configurazioni possibili sono di seguito descritte cinque tipologie di impianti, indicativi della versatilità permessa dalle attuali tecnologie.

Cogenerazione di energia termica ed energia elettrica

I sistemi di cogenerazione, con motori endotermici o a turbine, consentono la autoproduzione di energia elettrica utilizzando differenti fonti primarie di energia termica quali metano, gpl, biogas, biomasse ecc. e contemporaneamente permette di disporre di energia termica recuperata dal processo di trasformazione.

Nella produzione convenzionale di energia elettrica (fig.1.) soltanto il 35% dell'energia primaria fornita al sistema viene trasformata in energia elettrica mentre il 65% viene dissipata nell'ambiente con gravi conseguenze di carattere economico ed ambientale.

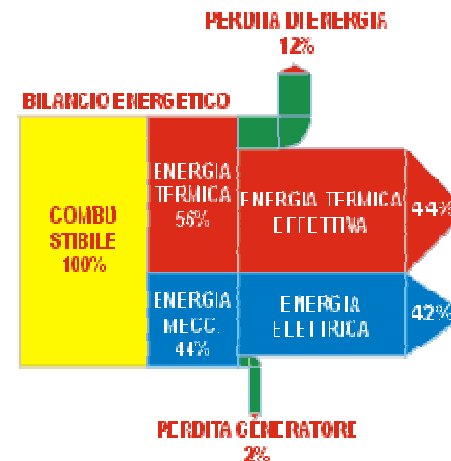


Figura 1. Bilancio energetico nella produzione di energia elettrica

Invece, nella produzione di energia elettrica mediante cogenerazione, soltanto il 15% dell'energia primaria viene sprecata, mediamente il 37% viene convertito in energia elettrica ed il 48% recuperato e trasformato in energia termica come acqua calda, acqua surriscaldata o vapore. Con soluzioni tecniche di nuova generazione si raggiungono rendimenti elettrici nell'ordine del 42% pari a 2,33 kW di energia primaria per ottenere 1 kW di energia elettrica (fig.2).

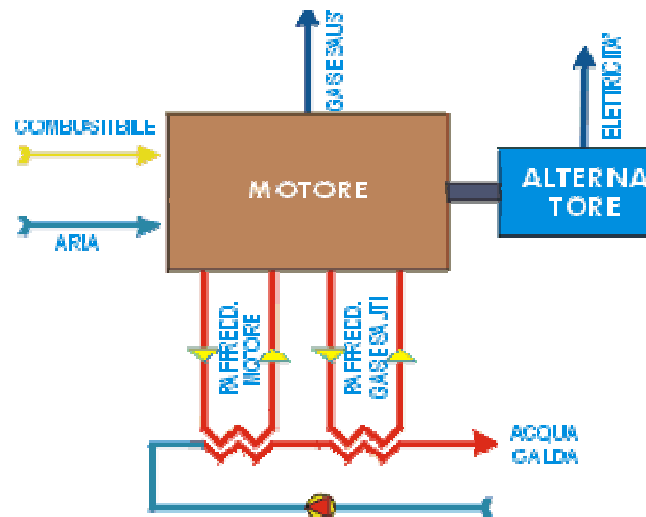


Figura 2. Schema di un impianto di rigenerazione

Attualmente la cogenerazione è diventata indubbiamente una buona opportunità, conveniente anche per utenze medio-piccole:

1. continua evoluzione delle tecnologie e dei sistemi di controllo
2. la fornitura di metano per tale tecnologia è resa particolarmente favorevole dalle disposizioni di legge in materia di risparmio energetico, maggiori agevolazioni sono possibili qualora le fonti primarie siano rinnovabili.
3. possibilità di trasferire in rete, ricavandone un corrispettivo, l'energia elettrica autoprodotta in esubero.
4. i sistemi di cogenerazione possono essere interamente assemblati in container, ciò permette un ulteriore abbattimento dei costi di installazione e di opere, oneri e pratiche edili.

Trigenerazione di energia elettrica, energia termica ed energia frigorifera

Un particolare campo dei sistemi di cogenerazione è quello della *trigenerazione* che, oltre ad autoprodurre energia elettrica, consente di utilizzare l'energia termica recuperata dalla trasformazione anche per produrre energia frigorifera, ovvero acqua refrigerata per il condizionamento o per i processi industriali.

La trasformazione dell'energia termica in energia frigorifera è resa possibile dall'impiego del ciclo frigorifero ad assorbimento il cui funzionamento si basa su trasformazioni di stato del fluido refrigerante (acqua) in combinazione con la sostanza (bromuro di litio) utilizzata quale assorbente.

Schema di un impianto di trigenerazione (fig. 3.) con motore endotermico e chiller ad assorbimento:

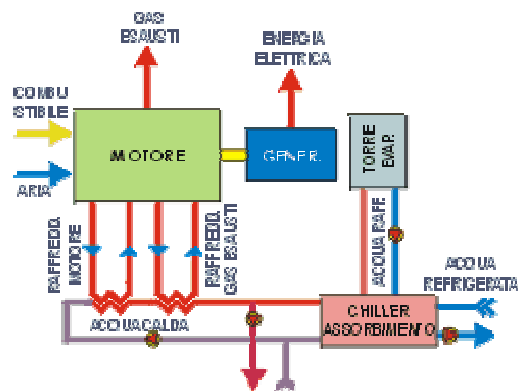


Figura 3. Schema di un impianto di trigenerazione

In un sistema di trigenerazione il rendimento globale aumenta enormemente ottenendo risparmi energetici anche nell'ordine del 60%, si pensi, ad esempio, ad un ipermercato dove coesistono, nello stesso momento, rilevanti e costanti esigenze di energia elettrica, energia frigorifera per il condizionamento ed energia termica per il riscaldamento.

Le migliori tecnologie di trigenerazione, collaudate, hanno dimostrato elevati rendimenti globali : 86%, di cui 42% energia elettrica, 42% energia termica o 31% frigorifera (fig4.)

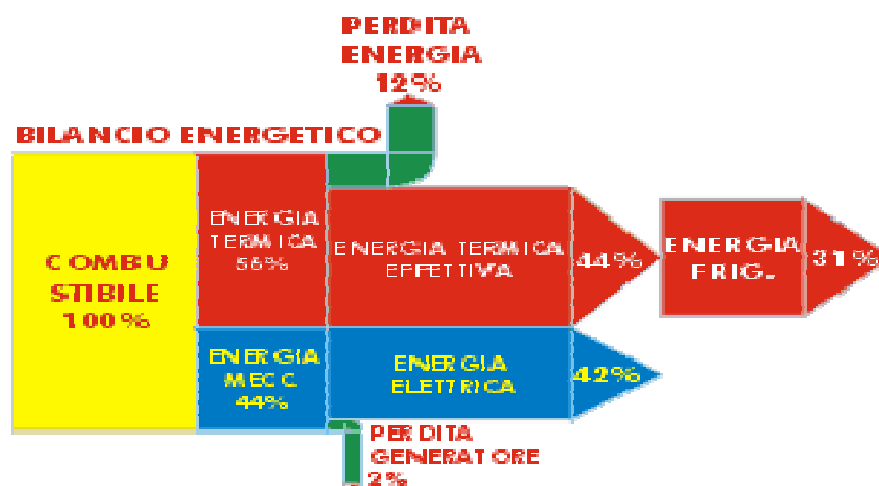


Figura 4. Bilancio energetico di un impianto di rigenerazione

Cogenerazione o rigenerazione con utilizzo di biogas

Il biogas derivante dai fenomeni connessi alla trasformazione anaerobica delle sostanze organiche contenuti nei rifiuti è costituito, mediamente, dal 50-60% di metano, da anidride carbonica, composti solforati ed acqua.

Dopo la captazione e la depurazione può essere utilizzato come energia primaria per alimentare i motori endotermici di un sistema di cogenerazione. Oltre a grandi impianti per il recupero del biogas dalle discariche per alimentare cogeneratori collegati a reti di teleriscaldamento e raffrescamento, oggi esiste la possibilità di avere sistemi di piccola/media taglia, con diverse varianti funzionali, ad hoc per utenti privati e consorzi che dispongono di rifiuti organici dai quali è possibile ricavare biogas. Il sistema a biogas containerizzato (fig.5) può contenere anche il sistema di filtraggio del biogas, il sistema di compressione e la torcia.

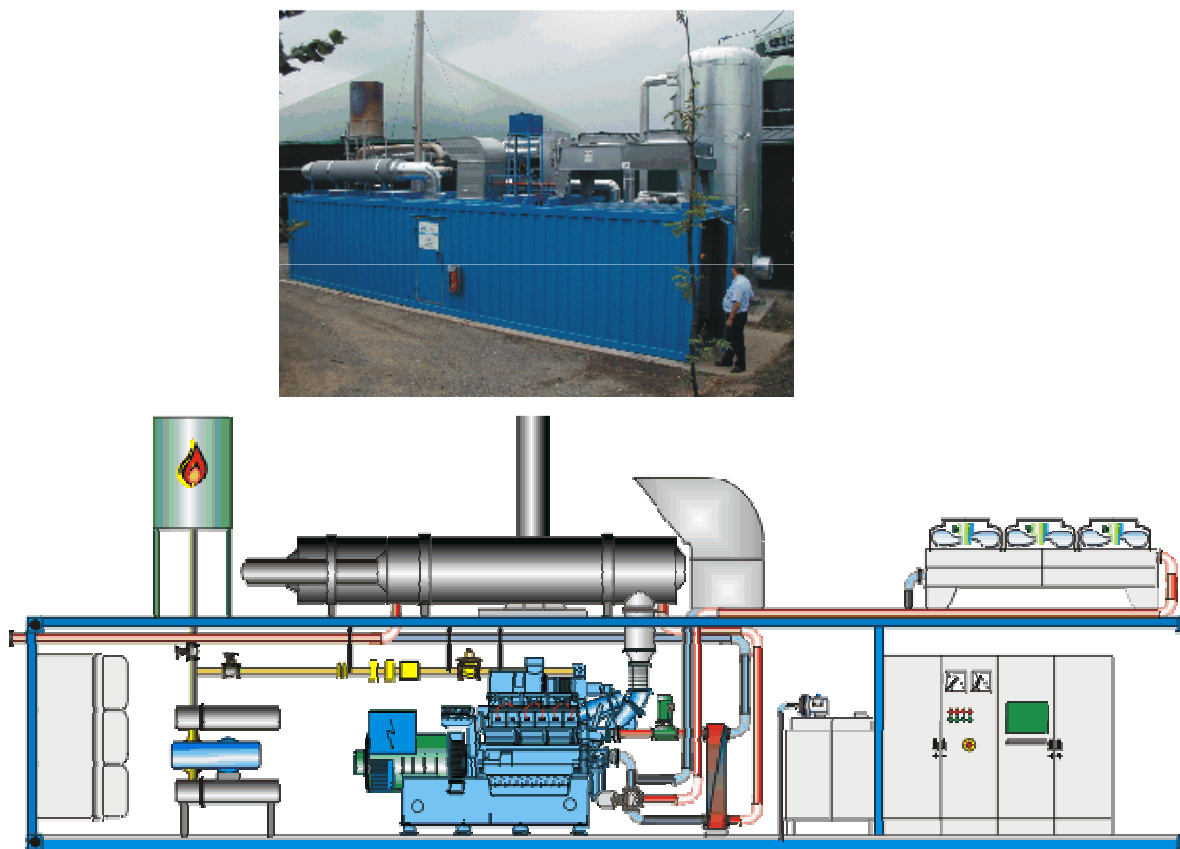


Figura 5. Sistema a biogas containerizzato

Cogenerazione o trigenerazione con utilizzo di energia termosolare

Quando i raggi solari vengono captati e concentrati, attraverso uno specchio parabolico (fig.6.), generano una intensa quantità di calore nel fuoco della parabola. L'energia solare viene captata dal collettore la cui superficie a specchio riflettente focalizza i raggi solari sul tubo ricevitore posto lungo la linea focale e all'interno del quale circola un fluido termovettore che viene riscaldato ad alta temperatura, 300° C.

Il collettore, di norma, è costruito a parabola mobile ed insegue il sole sull'asse nord-sud

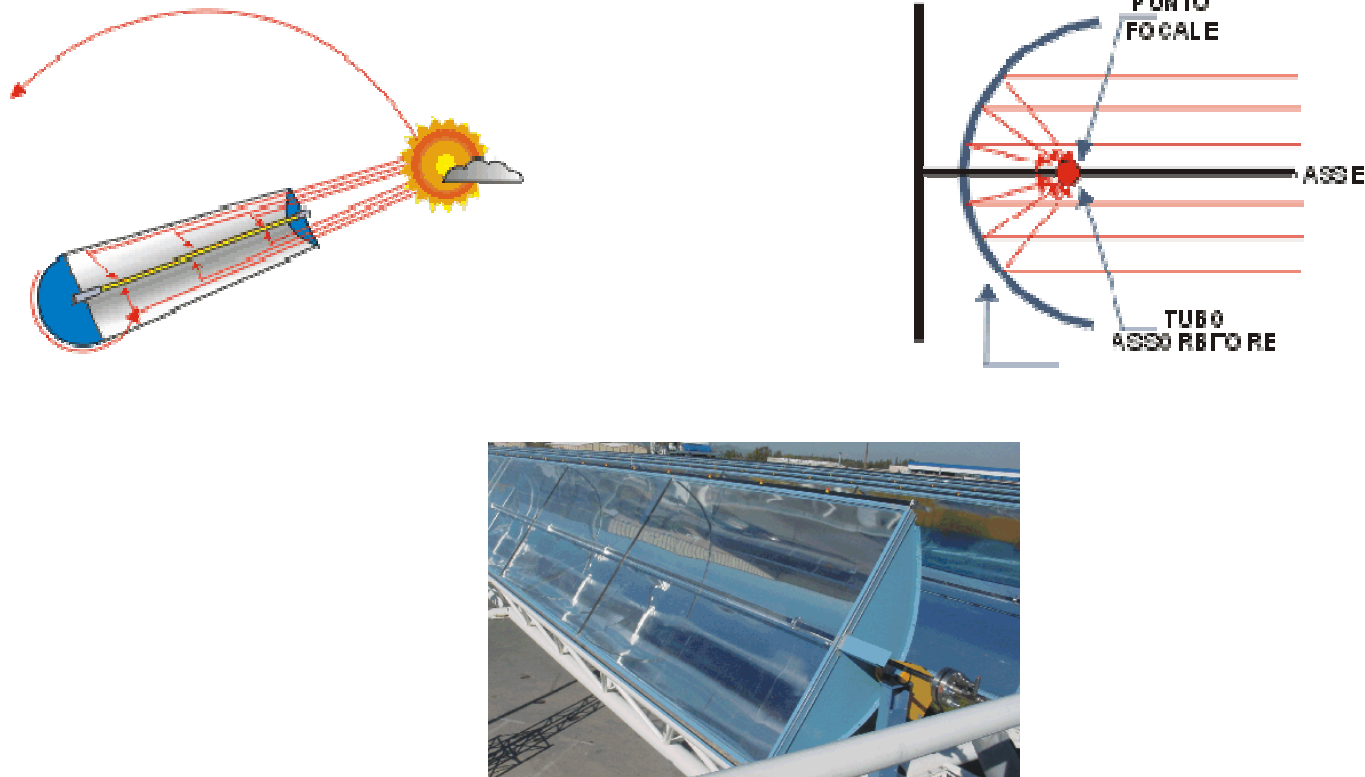


Figura 6. Specchio parabolico

Un sistema di co-trigenerazione solare utilizza come energia primaria l'energia termica ricavata dal sole fornita ad una turbina sottoforma di vapore o ad una turbina organica ciclo Rankine sottoforma di fluido caldo. Il fluido riscaldato dal sole a 300° C viene utilizzato come energia primaria per vaporizzare a bassa pressione, mediante un generatore indiretto, la condensa proveniente dal condensatore della turbina. Il vapore, successivamente, viene portato ad alta pressione, utilizzando una fonte di calore che può essere metano ma anche biomasse o CDR o biogas (fig.7.). Il fluido che raffredda il condensatore, riscaldato dal vapore a bassa pressione che si trasforma in condensa, viene utilizzato in un circuito di teleriscaldamento o per produrre localmente acqua refrigerata per condizionamento o per processi industriali con ciclo frigorifero ad assorbimento o adsorbimento.

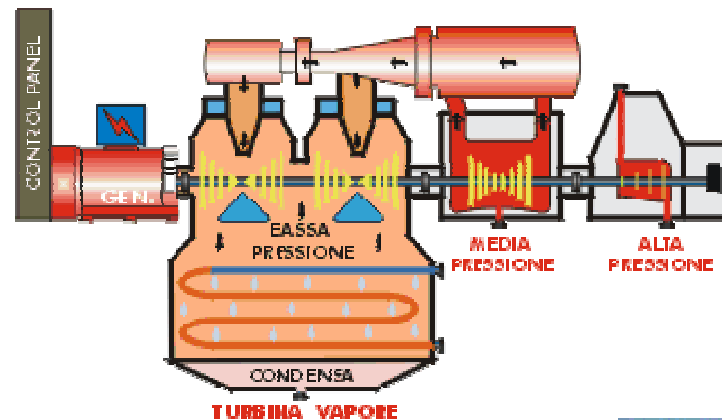


Figura 7. Schema di un impianto di cogenerazione con utilizzo di energia termosolare

Cogenerazione o rigenerazione interamente da fonti primarie rinnovabili

E' oggi possibile installare anche sistemi di co-trigenerazione che utilizzino esclusivamente fonti energetiche rinnovabili

I sistemi ibridi di cogenerazione e trigenerazione sfruttano l'energia primaria del biogas o di biomasse in genere quali energia di base e quella della radiazione solare diretta quando a disposizione

L'energia del sole viene captata dai collettori parabolici che la raccolgono e concentrano la radiazione su un ricevitore (assorbitore) all'interno del quale circola un fluido termovettore che viene riscaldato ad alte temperature.



Figura 8. Turbina organica

Il fluido termovettore riscaldato dal sole a circa 280°C mediante un campo di concentratori solari parabolici ad inseguimento, prima di essere immesso nell'evaporatore della turbina organica (fig.8.), viene portato a 300°C con il recupero termico sui gas esausti di combustione dei motori endotermici e con l'ausilio di una caldaia, alimentata a biogas o a syngas, che fornirà l'energia eventualmente mancante per raggiungere i 300°C . Il calore di recupero ($85\text{-}105^{\circ}\text{C}$) è sufficiente per ottenere il fluido caldo utile ad alimentare un chiller.

Bibliografia

- ✓ “Le biotecnologie nel settore agroalimentare”, di Maria Pia Ragionieri, ed. Giuffrè, 2007; “La Società No Oil.
- ✓ "Un nuovo sviluppo è possibile ma senza petrolio", di Vincenzo Naso, Orme Editori, 2006;
- ✓ “Protocollo di Kyoto e sviluppo sostenibile”, di Simone Borghesi e Alessandro Vercelli, ed. Palgrave-MacMillan, 2008;.
- ✓ ”Il dilemma nucleare”, di Carlo Rubbia, ed. Feltrinelli, 1987; “Progettare l’Energia”, di Umberto Veronesi, James Lovelock, Carlo Rubbia, ed. Feltrinelli, 2008, etc.
- ✓ “il Sole a trecentosessantagradi”, ISES Italia, anni XIV-XV;
- ✓ “Fotovoltaico”, Ed. Artenergy publishing, anni 2007-2008; “Wind Energy”;
- ✓ www.governo.it;
- ✓ www.ilverdeeditoriale.com
- ✓ www.zeroemission.it