

Capitolo V
Termovalorizzatori

Gli **inceneritori** sono impianti principalmente utilizzati per lo smaltimento dei rifiuti mediante un processo di combustione ad alta temperatura (incenerimento) che dà come prodotti finali un effluente gassoso, ceneri e polveri. Negli impianti più moderni, il calore sviluppato durante la combustione dei rifiuti viene recuperato e utilizzato per produrre vapore, poi utilizzato per la produzione di energia elettrica o come vettore di calore (ad esempio per il teleriscaldamento). Questi impianti con tecnologie per il recupero vengono indicati col nome di inceneritori con recupero energetico, o più comunemente termovalorizzatori.

Il termine **termovalorizzatore**, seppur di uso comune, è talvolta criticato in quanto sarebbe fuorviante. Infatti, secondo le più moderne teorie sulla corretta gestione dei rifiuti gli unici modi per "valorizzare" un rifiuto dovrebbero essere prima di tutto il *riuso* e poi il *riciclo*, mentre l'incenerimento (anche se con recupero energetico) costituirebbe semplice smaltimento e sarebbe dunque da preferirsi alla sola discarica controllata. Si fa notare che il termine non viene inoltre mai utilizzato nelle normative europea e italiana di riferimento, nelle quali si parla solo di "inceneritori" [1] [2] [3]. A queste si possono aggiungere categorie particolari come i fanghi di depurazione, i rifiuti medici o dell'industria chimica.

Vi è poi una grande quantità di rifiuti non inceneribili (classificati "inerti") provenienti da costruzioni e demolizioni: questi costituiscono

una percentuale di circa il 25% del totale, pari a ~30 milioni di tonnellate l'anno (dati 2001) [4]. Prima di procedere all'incenerimento i rifiuti possono essere trattati tramite processi volti a eliminare i materiali non combustibili (vetro, metalli, inerti) e la frazione umida (la materia organica come gli scarti alimentari, agricoli, ecc...). I rifiuti trattati in questo modo sono definiti CDR (ovvero combustibile derivato dai rifiuti) o più comunemente ecoballe.

Figura 3.8. Ecoballe



Tabella 3.8. Diffusione in Italia e in Europa. Le nazioni che non hanno impianti sono state omesse.

Impianti in Europa (2002) [5].		
Nazione	Numero impianti	Quantitativi trattati (t/anno)
Austria	2	406 700
Belgio	18	2 652 000
Danimarca	32	3 136 000
Francia	112	11 965 800
Germania	60	16 787 400
Inghilterra	3	1 071 000
Italia	51	3 488 776
Norvegia	4	273 000
Olanda	11	4 412 000
Portogallo	2	933 800
Spagna	8	1 070 300
Svezia	19	2 344 000
Svizzera	31	3 150 700
Ungheria	1	420 000
Totale	354	52 111 476

In **Europa** sono attivi attualmente (al 2002) 354 impianti di termovalorizzazione/incenerimento, in 18 nazioni. In alcune situazioni, impianti di questo genere sono da tempo inseriti in contesti urbani, ad esempio a Vienna, Parigi, Londra, Copenaghen. Paesi quali Svezia (circa il 45% del rifiuto viene incenerito), Svizzera (~100%), Danimarca (~50%) e Germania (~20%) ne fanno largo uso; in Olanda (in particolare ad Avr e Amsterdam) sorgono alcuni fra i più grandi inceneritori d'Europa, che permettono di smaltire fino a un milione e mezzo di tonnellate di rifiuti all'anno (~33% del totale). In Olanda comunque la politica - oltre a porsi l'obiettivo di ridurre il conferimento in discarica di rifiuti recuperabili - è quella di bruciare sempre meno rifiuti a favore di prevenzione, riciclo e riuso [6] (ad esempio mediante incentivi, come cauzioni e riconsegna presso i centri commerciali sul riutilizzo delle bottiglie di vetro e di plastica). Di contro altri paesi europei ne fanno un uso molto limitato o nullo: Austria (~10%), Spagna e Inghilterra (~4-7%), Finlandia, Irlanda e Grecia (0%) sono esempi in tal senso.

In **Italia** l'incenerimento dei rifiuti è una modalità di smaltimento minoritaria, ma comunque nella media dei paesi europei (si vedano i quantitativi trattati indicati nella tabella a lato), anche a causa dei dubbi che permangono sulla nocività delle emissioni nel lungo periodo e delle conseguenti resistenze della popolazione: la maggior parte dei circa 3,5 milioni di tonnellate di combustibile da rifiuti italiani viene incenerita in impianti del Nord, e il totale nazionale ammonta a circa il 12% sul totale dei rifiuti solidi urbani [7].

A **Brescia**, in prossimità della città, c'è uno dei termovalorizzatori più grandi d'Europa (ca. 750 000 tonnellate l'anno: il triplo di quello di Vienna) che soddisfa da solo circa un terzo [8] del fabbisogno di calore dell'intera città (1100 GWh/anno). Il termovalorizzatore di Brescia, nonostante sia stato coinvolto in due violazioni di direttive europee, delle quali una a livello nazionale riguardante il CIP 6, sfociate anche in una condanna da parte dell'Unione Europea [9], nell'ottobre 2006 è stato proclamato "migliore impianto del mondo" [10] dal WTERT (*Waste-to-Energy Research and Technology Council*), una associazione formata da tecnici, scienziati ed industrie di tutto il mondo. [11] Da notare che la produzione di RSU della provincia di Brescia è minore della capacità dell'impianto, per cui per far funzionare a pieno regime i forni devono essere reperite circa 200.000 tonnellate l'anno di rifiuti di altra provenienza e/o tipologia. [12]

A **Trezzo sull'Adda**, in provincia di Milano, c'è uno dei più moderni termovalorizzatori in esercizio in Europa. Nel resto del settentrione sono

diffusi principalmente piccoli impianti a scarso livello tecnologico con basso rendimento, per i quali sono necessari dei rammodernamenti (come a Desio, Valmadrera e Cremona). Tuttavia, anche impianti ristrutturati ed "adeguati" di recente, presentano a volte emissioni fuori norma: nel gennaio 2008 l'inceneritore di Terni (ristrutturato nel 1998) è stato posto sotto sequestro in quanto i gestori (la società ASM), avrebbero nascosto emissioni gassose e nelle acque di scarico pesantemente fuori norma con alte concentrazioni di mercurio, cadmio, diossine, acido cloridrico. Sarebbero inoltre stati bruciati in più occasioni persino rifiuti radioattivi di origine ospedaliera e non solo [13]. Nel meridione troviamo invece una peggiore gestione del problema rifiuti: la scarsa raccolta differenziata, affiancata ad un basso numero di inceneritori, sfocia in un eccessivo ricorso all'utilizzo della discarica (fra i più alti in Europa), e ha spesso richiesto la spedizione dei rifiuti dal Sud agli inceneritori del Nord (e a volte anche verso l'estero).

Gli inceneritori più diffusi in Italia ed in Europa sono del tipo a griglie. Trattandosi sostanzialmente di impianti che sfruttano il calore sviluppato dalla combustione, non è importante solo il tonnellaggio di combustibile (i rifiuti), ma anche il suo potere calorifico, ovvero il calore sviluppato durante la combustione (in genere pari a circa 9000-13000 MJ/t). In altre parole, un inceneritore progettato (ed autorizzato) per bruciare 100000 t di rifiuti con potere calorifico di 13000 MJ/t, può arrivare a bruciare anche il 45% in più se i rifiuti hanno potere calorifico di 9000 MJ/t [14]. Il funzionamento di un "termovalorizzatore" a griglie può essere suddiviso in sei fasi fondamentali:

1. **Arrivo dei rifiuti.** Provenienti dagli impianti di selezione dislocati sul territorio (ma anche direttamente dalla raccolta del rifiuto), i rifiuti sono conservati in un'area dell'impianto dotato di sistema di aspirazione, per evitare il disperdersi di cattivi odori. Con un carroponete i materiali sono depositati nel forno attraverso una tramoggia. La tecnologia di produzione della frazione combustibile (CDR) ed il suo incenerimento sfrutta la preventiva disidratazione biologica dei rifiuti seguita dalla separazione degli inerti (metalli, minerali, ecc.) dalla frazione combustibile, che può essere "termovalorizzata" producendo energia elettrica con resa nettamente migliore rispetto all'incenerimento classico e con una diminuzione di impatto ambientale. [15].
2. **Combustione.** Il forno è solitamente dotato di una o più griglie mobili (forno "a griglie") per permettere il continuo movimento dei rifiuti durante la combustione. Una corrente d'aria forzata viene immessa nel forno per apportare la necessaria quantità di ossigeno che permetta la migliore combustione, mantenendo alta la temperatura (fino a 1000 °C e più). Per mantenere tali temperature, qualora il potere calorifico del combustibile sia troppo basso,

talvolta viene immesso del gas metano in una quantità variabile fra i 4 e 19 m³ per tonnellata di rifiuti. Accanto a una camera di combustione primaria viene associata una camera di combustione secondaria (camera di post-combustione), con lo scopo di completare la combustione dei fumi nel miglior rispetto della normativa vigente.

3. **Produzione del vapore surriscaldato.** La forte emissione di calore prodotta dalla combustione di metano e rifiuti porta a vaporizzare l'acqua in circolazione nella caldaia posta a valle, per la produzione di vapore surriscaldato ad alto contenuto entalpico.
4. **Produzione di energia elettrica.** Il vapore generato mette in movimento una turbina che, accoppiata a un motoriduttore e a un alternatore, trasforma l'energia termica in energia elettrica producendo corrente alternata per espansione del vapore surriscaldato.
5. **Estrazione delle ceneri.** Le componenti dei rifiuti non combustibili vengono raccolte in una vasca piena d'acqua posta a valle dell'ultima griglia. Le scorie, raffreddate in questo modo, sono quindi estratte e smaltite in discariche speciali. Ovviamente, separando preventivamente gli inerti dalla frazione combustibile si ottiene una riduzione delle scorie. L'acqua di raffreddamento (circa 2.5 m³/t) deve essere depurata prima di essere scaricata in ambiente. Le ceneri sono classificate come rifiuti speciali non pericolosi, mentre le polveri fini (circa il 4% del peso del rifiuto in ingresso) intercettate dai sistemi di filtrazione sono classificate come rifiuti speciali pericolosi. Entrambe sono smaltite in discariche per rifiuti speciali; ci sono recenti esperienze di riuso delle ceneri pesanti.
6. **Trattamento dei fumi.** Dopo la combustione i fumi caldi passano in un sistema multi-stadio di filtraggio, per l'abbattimento del contenuto di agenti inquinanti sia chimici che solidi. Dopo il trattamento e il raffreddamento i fumi vengono rilasciati in atmosfera a circa 140° C [16].

7. Tipologie di inceneritore

Figura 3.9: Interno del forno di un inceneritore a griglie



In funzione della specifica tecnologia adoperata nella camera di combustione primaria, è possibile distinguere le seguenti tipologie di inceneritore. Questi inceneritori possiedono un grosso focolare, con griglie metalliche normalmente a gradini formate da barre o rulli paralleli. La griglia può essere mobile o fissa e in diverse zone vengono raggiunte differenti temperature che permettono un più graduale riscaldamento. È presente anche un sistema di raffreddamento. Oltre alla normale combustione primaria, viene effettuata anche una combustione secondaria, ottenuta con un'ulteriore insufflazione d'aria che genera una notevole turbolenza, permettendo di migliorare il miscelamento aria-combustibile. Le ceneri prodotte vengono raccolte e raffreddate in vasche piene d'acqua.

Gli inceneritori più vecchi e impiantisticamente più semplici consistevano in una camera di mattoni con una griglia posta rispettivamente sopra e sotto la raccolta delle ceneri. Mentre quella posta superiormente, avente un'apertura in cima o lateralmente, veniva utilizzata per caricare il materiale da bruciare, quella inferiore permetteva la rimozione del residuo solido incombusto tramite l'apertura laterale. In confronto con le altre tipologie di inceneritori, gli impianti con griglie mobili sono quelli maggiormente sfruttati per i rifiuti urbani e permettono, grazie al movimento dei rifiuti all'interno della camera di combustione, una ottimizzazione della combustione stessa. Una singola griglia è in grado di trattare più di 35 t/h di rifiuti e può lavorare 8.000 ore l'anno con una sola sospensione dell'attività, per la durata di un mese, legata alla manutenzione e controlli programmati. [17] Una parte dell'aria necessaria

alla combustione primaria viene fornita dal basso della griglia e questo flusso viene anche sfruttato per raffreddare la griglia stessa. Il raffreddamento è importante per il mantenimento delle caratteristiche meccaniche della griglia, e molte griglie mobili sfruttano anche il raffreddamento tramite un flusso interno di acqua. L'aria necessaria alla combustione secondaria viene immessa ad alta velocità superiormente alla griglia e ha lo scopo di portare a completamento la reazione di combustione, realizzando una condizione di eccesso di ossigeno e una turbolenza che assicura un mescolamento ottimale di combustibile e comburente. È da notare però che alle griglie è legato un certo insieme di problematiche tecniche tra le quali spicca il deposito di polveri, con la necessità di un certo livello di manutenzione periodica programmata.

Inceneritore a letto fluido. La combustione a letto fluido è ottenuta inviando dal basso un forte getto di aria attraverso un letto di sabbia. Il letto quindi si solleva, mentre le particelle si mescolano e sono sotto continua agitazione. A questo punto vengono introdotti i rifiuti e il combustibile. Il sistema sabbia/rifiuto/combustibile viene mantenuto in sospensione sul flusso di aria pompata e sotto violento mescolamento e agitazione, assumendo in tale modo caratteristiche simil-fluide (da cui il letto fluido). Questo processo, detto fluidizzazione, ha l'effetto di diminuire la densità del sistema in oggetto pur senza alterarne la natura originaria. Tutta la massa di rifiuti, combustibile e sabbia circola completamente all'interno della fornace. La tecnologia a letto fluido è di comune utilizzo nell'ambito dell'ingegneria chimica, e viene utilizzata ad esempio anche in reattori per attuare la sintesi chimica e nell'ambito della petrolchimica. Una camera di combustione a letto fluido permette di ridurre le emissioni di ossidi di zolfo (SO_x) mescolando calcare o dolomite in polvere alla sabbia: in tal modo infatti lo zolfo non viene ossidato formando gas, bensì precipita sotto forma di solfato. Tra l'altro, tale precipitato caldo permette di migliorare lo scambio termico per la produzione di vapor acqueo. Dato che il letto fluido consente anche di operare a temperature inferiori (800°C), operando a tali temperature è possibile ridurre le emissioni di ossidi di azoto (NO_x). [18] Uno studio comparativo ha confrontato le **emissioni di polveri sottili**, caratterizzandone dimensione, composizione e concentrazione, e di elementi traccia relativamente all'utilizzo di una camera a griglie e di una camera a letto fluido (FBC) a monte dei sistemi di filtraggio. È emerso che le emissioni di particelle con diametro inferiore a $1\ \mu\text{m}$ (PM1) sono approssimativamente quattro volte maggiori nel caso delle griglie, con valori di $1-1,4\ \text{g/Nm}^3$ [19] contro i $0,25-0,31\ \text{g/Nm}^3$ del letto fluido. È stata misurata anche la quantità totale media di ceneri prodotte, che è risultata essere di $4,6\ \text{g/Nm}^3$ nel caso del letto fluido e di $1,4\ \text{g/Nm}^3$ nel caso delle griglie. [20] Il letto fluido ha il vantaggio di richiedere poca manutenzione e ovviamente, data la

particolare costituzione, non necessita di componenti in movimento. Possiede anche un rendimento leggermente superiore rispetto ai forni a griglia, ma richiede combustibile a granulometria piuttosto omogenea. Le tipologie di letto fluido più sfruttate rientrano principalmente in due categorie: sistemi a pressione atmosferica (*fluidized bed combustion, FBC*) e sistemi pressurizzati (*pressurized fluidized bed combustion, PFBC*). Questi ultimi sono in grado di generare un flusso gassoso ad alta pressione e temperatura in grado di alimentare una turbina a gas che può realizzare un ciclo combinato ad alta efficienza. [21]

Inceneritore a forno rotativo. Gli impianti a forno rotativo [22] hanno utilizzo di elezione nell'ambito dello smaltimento dei rifiuti industriali e speciali, ma possono anche essere utilizzati per i RSU. Si hanno due camere di combustione: la camera di combustione primaria consiste in un tubo cilindrico costruito in materiale refrattario e inclinato di 5-15°, il cui movimento attorno al proprio asse di rotazione viene trasmesso ai rifiuti. La rotazione fa accumulare all'estremità del cilindro le ceneri e il resto della frazione non combusta solida, che viene infine raccolta all'esterno. I gas passano invece in una seconda camera di combustione stavolta fissa. La camera di combustione secondaria è necessaria per portare a completamento le reazioni di ossidazione in fase gassosa. In relazione alla pericolosità del rifiuto trattato, le emissioni gassose possono richiedere un più accurato sistema di pretrattamento prima dell'immissione in atmosfera. Molte particelle tendono a essere trasportate insieme con i gas caldi, per questo motivo viene utilizzato un "post-bruciatore" dopo la camera di combustione secondaria per attuare una ulteriore combustione. [23]



Inceneritore a focolare *multi-step*. Il nome di questa tecnologia è legato al passaggio su più focolari del materiale da trattare. I rifiuti in entrata vengono caricati da una estremità, mentre i residui della combustione vengono asportati dall'altra estremità. Il carico/scarico dei rifiuti viene ripetuto automaticamente secondo il numero di focolari presenti. Un modello specifico è il forno di pirolisi a piani, studiato in origine per l'incenerimento di fanghi di varia natura (inclusi i fanghi biologici inattivati) ed occasionalmente usato nell'incenerimento di RSU che abbiano buone caratteristiche di trasporto. Con questo metodo, oltre ai rifiuti industriali e solidi urbani, è possibile trattare anche fanghi di varia origine.

Recupero energetico. Negli impianti più moderni, il calore sviluppato durante la combustione dei

rifiuti viene recuperato e utilizzato per produrre vapore, poi utilizzato per la produzione di energia elettrica o come vettore di calore (ad esempio per il teleriscaldamento). Il rendimento di tali impianti è però molto minore di quello di una normale centrale elettrica, poichè i rifiuti non sono un buon combustibile per via del loro basso potere calorifico, e le temperature raggiunte in camera di combustione sono inferiori rispetto alle centrali tradizionali. Talvolta per aumentare l'efficienza della combustione insieme ai rifiuti viene bruciato anche del gas metano.

Figura 3.10: Tubature per teleriscaldamento a Tubinga, in Germania

L'indice di sfruttamento del combustibile [24] di inceneritori e centrali elettriche può essere aumentato notevolmente abbinando alla generazione di energia elettrica il teleriscaldamento, che permette il recupero del calore prodotto che verrà poi utilizzato per fornire acqua calda. Tuttavia non sempre il calore recuperato può essere effettivamente utilizzato per via delle variazioni stagionali dei consumi energetici; ad esempio, in estate lo sfruttamento del calore può calare notevolmente, a meno che non siano presenti attrezzature che permettano di sfruttarlo per il raffreddamento. Oggi gran parte degli inceneritori sono dotati di qualche forma di recupero energetico [25] ma va rilevato che solo una piccola minoranza di impianti è collegata a sistemi di teleriscaldamento e pertanto viene recuperata solo l'elettricità.

L'efficienza energetica di un termovalorizzatore è variabile tra il 19 e il 27% se si recupera solo l'energia elettrica [26] ma aumenta molto col recupero del calore (cogenerazione). Ad esempio, nel caso dell'inceneritore di Brescia si ha un rendimento del 26% in produzione elettrica e del 58% in calore per teleriscaldamento, con un indice di sfruttamento del combustibile dell'84%. [27] A titolo di confronto una moderna centrale termoelettrica a ciclo combinato, il cui scopo primario è ovviamente quello di produrre elettricità, ha una resa del 57% per la produzione elettrica, e se abbinata al teleriscaldamento raggiunge l'87%. [28] Tipicamente per ogni tonnellata di rifiuti trattata possono essere prodotti circa 0,67 MWh di elettricità e 2 MWh di calore per teleriscaldamento [29]. Volendo invece confrontare il rendimento energetico delle varie tecnologie di trattamento termico dei rifiuti, il discorso è molto più complesso, meno documentato e fortemente influenzato dal tipo di impianto. In linea di massima le differenze sono dovute al fatto che, mentre in un inceneritore i rifiuti vengono direttamente bruciati ed il calore viene usato per produrre vapore, negli impianti di gassificazione/pirolisi i rifiuti vengono invece convertiti parzialmente in gas (*syngas*) che può essere poi utilizzato in cicli termodinamici più efficienti, come ad esempio un ciclo combinato sopra richiamato. La

possibilità di utilizzare diversi cicli termodinamici permette a tali impianti maggiore flessibilità nella regolazione dei rapporti fra produzione di calore e di elettricità, rendendoli meno sensibili alle variazioni stagionali dei consumi energetici (in altre parole d'inverno si può produrre più calore e d'estate più elettricità).

Scorie. L'incenerimento dei rifiuti produce scorie solide pari circa al 10-12% in volume e 15-20% in peso dei rifiuti introdotti, e in più ceneri per il 5%. [30] Gran parte della massa immessa nei forni viene infatti combusta ottenendo dei fumi che verranno opportunamente pretrattati prima di essere emessi dal camino. Le ceneri volanti e le polveri intercettate dall'impianto di depurazione dei fumi sono rifiuti speciali altamente tossici (in quanto concentrano molti degli inquinanti più nocivi), che come tali sono soggetti alle apposite disposizioni di legge e sono poi conferiti in discariche speciali. Le scorie pesanti, formate dal rifiuto incombusto - acciaio, alluminio, vetro e altri materiali ferrosi, inerti o altro - , sono raccolte sotto le griglie di combustione e possono poi essere divise a seconda delle dimensioni e quindi riciclate se non troppo contaminate. Le scorie sono generalmente smaltite in discarica e costituiscono una grossa voce di spesa. Tuttavia, possono rivelarsi produttive: un esempio di riciclaggio di una parte delle scorie degli inceneritori è l'impianto BSB di Noceto, nato dalla collaborazione fra CIAI (Consorzio Imballaggi Alluminio) e Bsb Prefabbricati; qui si trattano le scorie provenienti dai termovalorizzatori gestiti dalle società Silea S.p.A. (impianto di Lecco) e Hera (impianti di Rimini, Ferrara, Forlì, Ravenna) con 30.000 tonnellate di scorie l'anno da cui si ricavano 25.000 tonnellate (83%) di materiale destinato alla produzione di calcestruzzo, 1.500 tonnellate (5%) di metalli ferrosi e 300 tonnellate (1%) di metalli non ferrosi di cui il 65% di alluminio. Le scorie e le ceneri vengono caricate su un nastro trasportatore; i rottami ferrosi più consistenti sono subito raccolti, quelli più piccoli vengono rimossi poi con un nastro magnetico. Appositi macchinari separano dal resto i rimanenti metalli a-magnetici (prevalentemente alluminio); tutto il resto, miscelato con opportune dosi di acqua, inerti, cemento e additivi, e reso così inerte, va a formare calcestruzzo subito adoperato per la produzione di elementi per prefabbricati.

Con un trattamento di questo genere, si riduce di molto la necessità della discarica in seguito al trattamento nell'inceneritore in quanto ultimo anello della catena di gestione dei rifiuti, dal momento che le scorie pesanti passano dal 30 al 3,3% in peso dei rifiuti inceneriti. [31]. Tuttavia, alcuni studi hanno dimostrato la tossicità di alcuni calcestruzzi contenenti scorie [32], anche se con tecniche opportune la si può ridurre significativamente: sono ancora in corso degli studi. [33] Non è noto il bilancio energetico totale (e le relative emissioni) di queste procedure ed in che quota questo eroda il recupero energetico della filiera di

trattamento dei rifiuti mediante incenerimento. Un'altra tecnologia che si sta sperimentando è la vetrificazione delle ceneri con l'uso della torcia al plasma. Con questo sistema si rendono inerti le ceneri, risolvendo il problema dello smaltimento delle stesse come rifiuti speciali, inoltre si studia la possibilità di un loro riutilizzo come materia prima per il comparto ceramico e cementizio.

ALTRI TRATTAMENTI TERMICI DEI RIFIUTI.

Gassificatori e pirolizzatori. Un'alternativa a tutti gli impianti di incenerimento per combustione sono i **gassificatori** (da non confondersi coi rigassificatori) e gli impianti di **pirolisi**. In tali impianti i rifiuti vengono decomposti termochimicamente mediante l'insufflazione di una corrente di azoto (nei gassificatori anche ossigeno) ad elevate temperature, ottenendo come prodotti finali un gas combustibile (detto *syngas*) e scorie solide. In pratica mentre negli inceneritori il materiale viene riscaldato in presenza di ossigeno e avviene una combustione che genera calore e produce composti gassosi ossidati, negli impianti di pirolisi lo stesso riscaldamento viene effettuato in assenza totale di ossigeno e il materiale subisce la scissione dei legami chimici originari con formazione di molecole più semplici. La gassificazione, che avviene in presenza di una certa quantità di ossigeno, può essere considerata come una **tecnologia intermedia tra l'incenerimento e la pirolisi** propriamente detta.

Esistono numerosi processi basati su pirolisi e gassificazione, più o meno diffusi e collaudati, che differiscono fra loro per tipo di rifiuto trattato, per emissioni e per prodotti di risulta (liquidi, gassosi, solidi). In generale la maggior parte di essi è caratterizzata dal fatto che il materiale da trattare deve essere finemente sminuzzato per essere investito in maniera uniforme dalla corrente di azoto (pirolizzatori) o azoto e ossigeno (gassificatori). Le temperature operative sono in genere fra 400 e 800 °C nel caso della pirolisi e mentre per la gassificazione sono nettamente più elevate. Le emissioni delle due tecnologie sono sensibilmente differenti rispetto a quelle relative ad un inceneritore, e variabili in relazione agli specifici impianti e processi utilizzati nonché al tipo di materiale trattato.

Torcia al plasma. Un particolare tipo di gassificazione fa uso di una torcia al plasma a temperature comprese fra i 7000 e i 13000 °C, che decompone del tutto le molecole organiche e vetrifica tutti i residui eliminando così in teoria le problematiche relative all'inquinamento, poiché non dovrebbe permettere la produzione di nessun composto gassoso tossico o pericoloso come diossine, furani o ceneri diventando perciò un ottimo modo per trattare pneumatici, PVC, rifiuti ospedalieri e altri rifiuti industriali, nonché rifiuti urbani non trattati. I punti critici di tali

impianti sono però lo sfruttamento commerciale del materiale vetrificato e la produzione di nanopolveri, che possono sfuggire alla vetrificazione e sono presenti nei fumi in concentrazioni non ancora esattamente determinate.

Soluzioni di filtraggio delle emissioni al camino. I sistemi di depurazione dei fumi attuali sono costituiti da varie tecnologie e sono pertanto detti multistadio. Questi sistemi si suddividono in base al loro funzionamento in semisecco, secco, umido e misto. La caratteristica che li accomuna è quella di essere concepiti a più sezioni di abbattimento, ognuna in linea di massima specifica per determinati tipi di inquinanti. In base alla natura chimica della sostanza da "abbattere" vengono fatte avvenire delle reazioni chimiche con opportuni reagenti allo scopo di produrre nuovi composti non nocivi, relativamente inerti e facilmente separabili. A partire dagli anni ottanta si è affermata l'esigenza di rimuovere i macroinquinanti presenti nei fumi della combustione (ad esempio ossido di carbonio, anidride carbonica, ossidi di azoto e gas acidi come l'anidride solforosa) e di perseguire un più efficace abbattimento delle polveri in relazione alla loro granulometria. Si è passati dall'utilizzo di sistemi, quali cicloni e multicicloni, con efficienze massime di captazione delle polveri rispettivamente del 70% e dell'85%, ai precipitatori elettrostatici (ESP) o filtri a maniche che garantiscono efficienze notevolmente superiori (fino al 99% e oltre). [34] Attualmente le norme vigenti fanno riferimento alle emissioni di polveri totali.

Accanto a ciò, sono state sviluppate misure di contenimento preventivo delle emissioni, ottimizzando le caratteristiche costruttive dei forni e migliorando l'efficienza del processo di combustione. Questo risultato si è ottenuto attraverso l'utilizzo di temperature più alte (con l'immissione di discrete quantità di metano), di maggiori tempi di permanenza dei rifiuti in regime di alte turbolenze e grazie all'immissione di aria secondaria per garantire l'ossidazione completa dei prodotti della combustione. Tuttavia l'aumento delle temperature, se da un lato riduce la produzione di certi inquinanti (per es. diossine), dall'altro aumenta la produzione di ossidi di azoto e soprattutto di particolato il quale quanto più è fine, tanto più difficile è da intercettare anche per i più moderni filtri, per cui si deve trovare un compromesso, considerato anche che il metano usato comunque ha un costo notevole. Per questi motivi talvolta gli impianti prevedono postcombustori a metano e/o catalizzatori che funzionano a temperature inferiori ai 900 °C.

Abbattimento degli NO_x. Come detto la formazione di ossidi d'azoto aumenta quasi esponenzialmente al crescere della temperatura di combustione. Vanno citate le attrezzature specificatamente previste per l'abbattimento degli ossidi di azoto, per i quali i processi che vengono normalmente utilizzati sono del tipo catalitico o non catalitico. La prima di

queste tecnologie, definita **Riduzione Selettiva Catalitica** (SCR), consiste nell'installazione di un reattore a valle della linea di depurazione in cui viene iniettata ammoniacca nebulizzata, che, miscelandosi con i fumi e attraversando gli strati dei catalizzatori, trasforma alla temperatura di 300°C gli ossidi di azoto in acqua e azoto gassoso, gas innocuo che compone circa il 79% dell'atmosfera. Visto che è possibile che una certa quantità di ammoniacca non reagita sfugga dal camino ("*ammonia slip*"), sono state elaborate altre metodiche che non fanno uso di ammoniacca quale reagente ovvero che prevedono l'uso di un ulteriore catalizzatore per prevenirne la fuga. La seconda tecnologia, chiamata **Riduzione Selettiva Non Catalitica** (SNCR), spesso preferita perché più economica, presenta il vantaggio di non dover smaltire i catalizzatori esausti ma ha caratteristiche di efficacia inferiori ai sistemi SCR, e consiste nell'iniezione di un reagente (urea che ad alta temperatura si dissocia in ammoniacca) in una soluzione acquosa in una zona dell'impianto in cui la temperatura è compresa fra 850 °C e 1.050 °C con la conseguente riduzione degli ossidi di azoto in azoto gassoso e acqua. Altri processi non catalitici sfruttano la riduzione con ammoniacca attuata tramite irraggiamento con fascio di elettroni o tramite l'utilizzo di filtri elettrostatici.

Abbattimento dei microinquinanti. Altri sistemi sono stati messi a punto per l'abbattimento dei microinquinanti come metalli pesanti (mercurio, cadmio ecc) e diossine. Riguardo ai primi, presenti sia in fase solida che di vapore, la maggior parte di essi viene fatta condensare nel sistema di controllo delle emissioni e si concentra nel cosiddetto "particolato fine" (ceneri volanti). Il loro abbattimento è poi affidato all'efficienza del depolveratore che arriva a garantire una rimozione superiore al 99% delle PM10 prodotte, ma nulla può contro il PM2,5 e le nanopolveri. Per tale motivo le polveri emesse sono considerate particolarmente nocive.

Per quanto riguarda l'abbattimento delle diossine e dei furani il controllo dei parametri della combustione e della post-combustione (elevazione della temperatura a oltre 850°C), sebbene in passato fosse considerato di per sé sufficiente a garantire valori di emissione in accordo alle normative, è oggi considerato insufficiente e quindi accompagnato (nei nuovi impianti) da un ulteriore intervento specifico basato sulle proprietà chimicofisiche dei carboni attivi. Questo ulteriore processo viene effettuato attraverso un meccanismo di chemiadsorbimento, cioè facendo "condensare" i vapori di diossine e furani sulla superficie dei carboni attivi. Questi non sono altro che carbone in polvere, il quale può esibire 600 m² di superficie ogni grammo: detto in altri termini funziona come una specie di "spugna". Queste proprietà garantiscono abbattimenti dell'emissione di diossine e furani tali da permettere di operare al di sotto dei valori richiesti dalla normativa. Anche qui la filtrazione della polvere di

carbone esausta è affidata al depolveratore in quanto evidentemente i carboni esausti (cioè impregnati di diossine) sono altamente nocivi e sono considerati rifiuti speciali pericolosi, da smaltire in discariche speciali. Sono allo studio metodi di lavaggio dei fumi in soluzione oleosa per la cattura delle diossine che sfruttino la loro spiccata solubilità nei grassi.

Abbattimento delle polveri. La pericolosità delle polveri prodotte da un inceneritore è potenzialmente estremamente elevata. Questo è confermato dai limiti particolarmente severi imposti dalla normativa per i fumi, limitata però alle polveri totali senza discriminare le relative dimensioni delle stesse. Infatti, se da un lato la combustione dei rifiuti produce direttamente enormi quantità di polveri dalla composizione chimica varia, dall'altra alcune sezioni dei sistemi di filtrazione ne aggiungono di ulteriori (in genere calce o carboni attivi) per assorbire metalli pesanti e diossine come sopra spiegato. Pertanto, le polveri finiscono per essere un concentrato di sostanze pericolose per la vita umana ed animale. Per tali motivi, l'importanza e l'efficacia dei depolveratori è molto elevata. Vengono in genere usati sia filtri elettrostatici (dagli elevati consumi elettrici, poco efficaci su ceneri contenenti poco zolfo ma in generale abbastanza efficaci se frequentemente ripuliti [35]), sia filtri a maniche (non adatti ad alte temperature e soggetti ad intasamento). Attualmente la legge non prevede limiti specifici per le polveri fini (PM10, ecc.) per cui la reale efficacia di tali sistemi su queste particelle è oggetto di dibattiti accesi. Tuttavia il rispetto della legge vigente è, in genere, ampiamente garantito. In ogni caso, le polveri trattenute devono essere smaltite in discariche per rifiuti speciali pericolosi: in taluni casi vengono smaltite all'estero (in Germania le miniere di salgemma vengono usate per questo oltre che per i rifiuti radioattivi).

INCENTIVI ALL'INCENERIMENTO.

In Italia, i costi dello smaltimento dei rifiuti tramite incenerimento sono indirettamente sostenuti dallo Stato sotto la forma di incentivi alla produzione di energia elettrica: infatti questa modalità di produzione era considerata (in violazione delle norme europee), come da fonte rinnovabile (assimilata) alla stregua di idroelettrico, solare, eolico e geotermico [36]. Le modalità di finanziamento sono due, correlate ma diverse:

1. pagamento maggiorato dell'elettricità prodotta per 8 anni (incentivi cosiddetti CIP 6);
2. riconoscimento di "certificati verdi" che il gestore dell'impianto può rivendere (per 12 anni).

Incentivi CIP 6. Per quanto riguarda gli incentivi CIP 6 (circolare n° 6/1992 del Comitato Interministeriale Prezzi), chi gestisce l'inceneritore - per otto anni dalla sua costruzione - può vendere al GSE (la società cui è affidato il compito di assicurare la fornitura di energia elettrica italiana) la propria produzione elettrica a un costo circa triplo rispetto a quanto può fare chi produce elettricità usando metano, petrolio o carbone. [37] L'importo di questo incentivo è aggiornato trimestralmente e, se nel 3° trimestre 2007 era di circa 54 €/MWh, per il 4° trimestre è cresciuto a 62,60 €/MWh. [38] I costi di tali incentivi ricadono sulle bollette degli utenti, che comprendono una tassa per il sostegno delle fonti rinnovabili. Ad esempio nel 2004 il Gestore Servizi Elettrici ha ritirato 56,7 TWh complessivi di elettricità da fonti "rinnovabili", di cui il 76,5% proveniente da termovalorizzatori e altri fonti assimilate (fra cui il gas dai residui di raffineria), spendendo per questi circa 2,4 miliardi di euro; [39] per il già citato inceneritore di Brescia, la società di gestione (ASM SpA, oggi A2A SpA) ha ricevuto nel 2006 contributi CIP 6 per oltre 71 milioni di euro. [40] A titolo di confronto, nel 2006 a seguito dell'introduzione degli incentivi in conto energia per il fotovoltaico sono stati stanziati solamente 4,5 milioni di euro per 300 MW di potenza. [41]. Il CIP 6 prevede inoltre che gli impianti incentivati godano di un innalzamento della tariffa riconosciuta dal GSE per compensare eventuali spese aggiuntive per l'attuazione del protocollo di Kyoto, annullando così del tutto i benefici della riduzione delle quote gratuite di emissione da 28 a 3,5 Mt/a di CO₂ prevista dal Piano nazionale di assegnazione delle emissioni (Pna) 2008-2012, attualmente in fase di approvazione, e rischiando perciò di comprometterne l'intero impianto, giacchè gli impianti CIP 6 sono il settore su cui si concentra la gran parte delle riduzioni. [42]

Certificati verdi. Si tratta di certificati che corrispondono ad una certa quantità di emissioni di CO₂: se un impianto produce energia emettendo meno CO₂ di quanto avrebbe fatto un impianto alimentato con fonti fossili (petrolio, gas, carbone ecc.) perchè "da fonti rinnovabili", il gestore ottiene dei certificati verdi che può rivendere a industrie o attività che sono obbligate a produrre una quota di energia mediante fonti rinnovabili ma non lo fanno autonomamente. Il prezzo dei certificati verdi è stato pari a circa 125 €/MWh nel 2006. Poiché gli impianti di incenerimento venivano in Italia considerati come "da fonte rinnovabile", le società che li gestiscono sono fra quelle che possono vendere i certificati verdi, ottenendo quindi questo ulteriore tipo di finanziamento.

In realtà, secondo la normativa europea, solo la parte organica dei rifiuti potrebbe essere considerata rinnovabile; la restante parte può essere considerata esclusivamente una forma di smaltimento del rifiuto, escludendo esplicitamente la valenza di "recupero". [43] Pertanto, la Commissione europea ha avviato una procedura di infrazione contro

L'Italia per gli incentivi dati dal governo italiano per produrre energia bruciando rifiuti inorganici considerandoli "fonte rinnovabile". A tal proposito già nel 2003 [44] il Commissario UE per i Trasporti e l'Energia, Loyola De Palacio, in risposta a una interrogazione dell'On. Monica Frassoni al Parlamento Europeo, ha ribadito l'opposizione dell'Unione Europea all'estensione del regime di sovvenzioni europee previsto dalla Direttiva 2001/77 per lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili all'incenerimento delle parti non biodegradabili dei rifiuti. Queste le affermazioni testuali del Commissario all'energia: "La Commissione conferma che, ai sensi della definizione dell'articolo 2, lettera b) della direttiva 2001/77/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 settembre 2001, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, la frazione non biodegradabile dei rifiuti non può essere considerata fonte di energia rinnovabile". Il fatto che una legge nazionale (v. art. 17, D. Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387.) includa, nell'atto di recepimento italiano della Direttiva 2001/77, i rifiuti tra le fonti energetiche ammesse a beneficiare del regime riservato alle fonti rinnovabili, ivi compresi i rifiuti non biodegradabili non elimina l'infrazione alla normativa europea, rendendola invece certa e palese.

Chi difende tale impostazione si richiama a una norma della direttiva comunitaria 2001/77/CE apparentemente in contraddizione con le direttive europee nel campo, la quale autorizza in deroga l'Italia a computare l'elettricità prodotta dalla quota non rinnovabile dei rifiuti nel totale dell'elettricità prodotta da fonti rinnovabili ai fini del raggiungimento dell'obiettivo del 25% di produzione rinnovabile nel 2010: proprio questa deroga nel 2006 è stata attaccata in sede di Parlamento europeo coll'emendamento (articolo 15 bis) alla legge Comunitaria 2006. [39]. Eliminando gli incentivi agli inceneritori, si vuole ristabilire un equilibrio di trattamento tale da consentire la piena applicazione della strategia integrata di smaltimento dei rifiuti; a tale esigenza fa riscontro la necessità secondo alcuni di aumentare l'incenerimento in Italia (si veda la voce sulla gestione dei rifiuti per il ruolo dell'incenerimento nella gestione dei rifiuti).

A tale **disputa** si contrappone quella fra chi ritiene gli inceneritori antieconomici e chi li ritiene vantaggiosi e minimizza il ruolo degli incentivi, dicendo che il guadagno principale degli inceneritori con recupero di energia deriva dallo smaltimento dei rifiuti e non da tali incentivi: posizione apparentemente smentita dall'intensa attività di pressione politica esercitata sul Parlamento in merito alla cancellazione degli incentivi nella finanziaria 2007. Il testo dibattuto ed approvato in Parlamento, per eliminare l'infrazione alle norme europee, escludeva tutte le fonti "assimilate" dagli incentivi alle rinnovabili, concedendo una deroga solo agli impianti "già in funzione", mentre il testo del "maxi-

emendamento” approvato con la fiducia ha concesso una ulteriore deroga a tutti gli impianti anche solamente “autorizzati” senza che questa dicitura fosse stata concordata fra le parti. [45] Per regolamentare la questione il 7 febbraio 2007 è stato presentato dal Consiglio dei Ministri un disegno di legge (n. 1347) passato all'esame delle Commissioni Industria e Ambiente del Senato e finalizzato a limitare gli incentivi “ai soli impianti realizzati e operativi” come originariamente previsto dalla finanziaria 2007. [46] La norma è stata infine approvata nella finanziaria 2008. [47] Sono 129 gli impianti che attualmente beneficiano del CIP 6; per 29 il periodo di incentivazione è già scaduto. Gli impianti autorizzati ma non operativi sono 16, di cui 11 sono termovalorizzatori di rifiuti, tra cui gli inceneritori di Torino e di Roma, 4 impianti in Sicilia, 2 impianti in Campania (fra cui Acerra). In ogni caso, il totale degli incentivi CIP 6 erogati si ridurrà progressivamente fino a esaurirsi nel 2015, o al più tardi nel 2021. [37] A seguito di ciò il costo dell'incenerimento dei rifiuti dovrebbe nel tempo aumentare di circa 50 €/t, facendo diventare decisamente più conveniente il riciclaggio, ma anche la discarica. [48].