

LIBRO BIANCO

SULL'INCENERIMENTO
DEI RIFIUTI URBANI



UTILITALIA

imprese acqua ambiente energia

Parte I - Aspetti tecnici e di impatto sull'ambiente

Gruppo di lavoro:

Politecnico di Milano:

Stefano Cernuschi (*Responsabile Scientifico*), Mario Grosso e Federico Viganò

Politecnico di Torino:

Maria Chiara Zanetti e Deborah Panepinto

Università di Trento:

Marco Ragazzi

Parte II - Indagini epidemiologiche condotte in Italia e all'estero nelle aree interessate dalla presenza di inceneritori e pubblicazioni sul tema in riviste scientifiche: rassegna commentata.

Gruppo di lavoro:

Andrea Magrini

Dipartimento di Biomedicina e Prevenzione

Francesco Lombardi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica

Settembre 2020

INDICE

GLOSSARIO	5
INTRODUZIONE	8
1. I RIFIUTI: GENERALITÀ E PRODUZIONE IN ITALIA E IN EUROPA	10
1.1 La produzione in Italia	10
1.2 Raccolta differenziata e tassi di avvio al riciclaggio	12
1.3 Scarti provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti	15
1.3.1 Scarti dal trattamento della frazione organica	15
1.3.2 Scarti dalla produzione di Combustibile Solido Secondario (CSS)	15
1.3.3 Scarti dalla selezione della plastica: il Plasmix	16
1.3.4 Scarti dal riciclo della carta	16
1.3.5 Scarti dal trattamento dei veicoli a fine vita: il car fluff	16
1.4 I rifiuti speciali in Italia	17
1.5 Scenari internazionali e criticità derivanti da flussi verso mercati esteri	18
1.6 Il contesto europeo: produzione rifiuti, raccolta differenziata e tassi di avvio al riciclaggio	20
1.7 Le direttive comunitarie sulla gestione dei rifiuti: situazione attuale e linee di indirizzo strategico	22
1.8 Situazione impiantistica in Italia oggi e domani	25
2. L'INCENERITORE	30
2.1 Il funzionamento degli impianti di incenerimento	32
2.1.1 Camera di combustione	32
2.1.2 Sezione di depurazione fumi	33
2.1.3 Sezione di recupero energetico	35
2.2 Frazioni residue	36
2.3 Bilancio di massa di un inceneritore	36
2.4 Indice tecnico/normativo R1	37
3. IMPATTO DELL'INCENERIMENTO SULL'AMBIENTE	40
3.1 Generalità	40
3.2 Le concentrazioni di inquinanti al camino	40
3.3 Il contributo alle emissioni atmosferiche	44
3.4 Il ruolo degli impianti sulla qualità dell'aria	51
4. IL BILANCIO AMBIENTALE DELL'INCENERITORE	54
4.1 Energia elettrica e termica prodotta, benefici ambientali per emissioni evitate e per la riduzione di combustibili fossili	54
4.2 Bilancio ambientale rispetto alla discarica; indicatori ambientali sintetici dell'inceneritore	55

4.3 Riduzione dell'impiego di materiali inerti grazie al recupero delle ceneri pesanti	56
5. GLI IMPIANTI NATI IN SITUAZIONI EMERGENZIALI (TMB E IMPIANTI DI BIOESSICCAZIONE)	60
5.1 Cenni a finalità, efficienza e prestazioni, bilancio ambientale (LCA)	60
5.2 Casi nazionali e in Europa	62
6. ASPETTI AUTORIZZATIVI	64
BIBLIOGRAFIA	70
INDAGINI EPIDEMIOLOGICHE CONDOTTE IN ITALIA E ALL'ESTERO NELLE AREE INTERESSATE DALLA PRESENZA DI INCENERITORI E PUBBLICAZIONI SUL TEMA IN RIVISTE SCIENTIFICHE: RASSEGNA COMMENTATA	75
1. RASSEGNA COMMENTATA DI STUDI EPIDEMIOLOGICI	76
1.1 Articolo "REF 1"	77
1.2 Articolo "REF 2"	78
1.3 Articolo "REF 3"	79
1.4 Articolo "REF 4"	80
1.5 Articolo "REF 5"	82
1.6 Articolo "REF 6"	83
1.7 Articolo "REF 7"	84
1.8 Articolo "REF 8"	85
1.9 Articolo "REF 9"	86
1.10 Articolo "REF 10"	87
1.11 Articolo "REF 11"	88
1.12 Conclusioni	92
2. BIBLIOGRAFIA	94

GLOSSARIO

BAT: Best Available Techniques. Le Migliori Tecniche Disponibili applicabili a processi industriali per minimizzare l'impatto sull'ambiente

EER: Elenco Europeo dei Rifiuti. Si tratta dell'elenco di tutte le possibili tipologie di rifiuti generate nell'Unione Europea

CSS: Combustibile Solido Secondario. Materiale dalle buone caratteristiche combustibili ottenuto mediante lavorazioni meccaniche e biologiche del Rifiuto Urbano Residuo

FER: Fonti Energetiche Rinnovabili

FORSU: Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani, raccolta separatamente

FOS: Frazione Organica Stabilizzata. Il materiale organico "sporco" ottenuto mediante separazione meccanica dal RUR e successiva stabilizzazione biologica

IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici

IPPC: Integrated Pollution Prevention and Control (Controllo e Prevenzione Integrati dell'Inquinamento)

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

MNC: Materiale Non Compostabile. Materiale estraneo rinvenuto all'interno della FORSU, che deve essere separato

NMVOC: Composti Organici Volatili Non Metanici

PCB: Bifenili Policlorurati

PCDD/F: Diossine e Furani

PM₁₀: Particolato Fine (dimensioni < 10 micron)

RD: Raccolta Differenziata

RS: Rifiuti Speciali

RSNP: Rifiuti Speciali Non Pericolosi

RSP: Rifiuti Speciali Pericolosi

RUR: Rifiuto Urbano Residuo

TMB: Trattamento Meccanico-Biologico. Trattamento applicato al RUR che genera diverse tipologie di materiali in uscita, quali CSS, FOS, scarti

WFD: Waste Framework Directive (Direttiva Quadro sui Rifiuti)



Termovalorizzatore - FORLÌ

INTRODUZIONE

Il presente Libro bianco si compone di due distinte parti che descrivono i risultati di due diverse attività di ricerca con differenti responsabili scientifici.

Nella prima, composta dai capitoli da 1 a 6, vengono riportate le risultanze della ricerca sugli “Aspetti tecnici e di impatto sull'ambiente degli inceneritori”, condotta da un gruppo di lavoro composto dai Professori Stefano Cernuschi (Responsabile scientifico), Mario Grosso e Federico Viganò del Politecnico di Milano, Maria Chiara Zanetti e Deborah Panepinto del Politecnico di Torino e Marco Ragazzi dell'Università di Trento.

La seconda parte ha avuto ad oggetto “Indagini epidemiologiche condotte in Italia e all'estero nelle aree interessate dalla presenza di inceneritori e pubblicazioni sul tema in riviste scientifiche” ed è stata condotta da un gruppo di lavoro composto dai Professori Francesco Lombardi e Andrea Magrini dell'Università di Roma 3 Tor Vergata.

Le attività di ricerca condotte hanno avuto lo scopo di evidenziare quali sono le conoscenze attualmente disponibili sulla tecnologia dell'incenerimento, con recupero di energia, dei rifiuti urbani residui non riciclabili ai fini della riduzione, fino all'annullamento del ricorso allo smaltimento in discarica.

Con l'introduzione nell'ordinamento italiano, infatti, delle direttive sull'economia circolare nei prossimi anni dovranno essere programmate ed attuate azioni importanti, sia gestionali che impiantistiche, al fine di poter conseguire gli ambiziosi obiettivi del riciclaggio effettivo pari al 65% e della riduzione del ricorso alla discarica al di sotto del 10%.

La tecnologia del recupero di energia tramite incenerimento delle frazioni non riciclabili può dare un valido contributo a questi fini, anche in considerazione delle pronunce europee sul tema come la Comunicazione n. 34 del 2017 della Commissione europea, nella quale si riconosce il ruolo del recupero energetico per i rifiuti non riciclabili in diverse forme, tra le quali anche l'incenerimento di rifiuti in impianti dedicati.

La ricerca, partendo dai dati disponibili, nella prima parte ben evidenzia il supporto insostituibile che il *waste to energy* può fornire nella gestione di flussi che altrimenti avrebbero come destino lo smaltimento, quali a titolo di esempio gli scarti del trattamento delle frazioni organiche, gli scarti della selezione delle plastiche, gli scarti del riciclaggio della carta e gli scarti del recupero dei veicoli a fine vita.

Nella descrizione del funzionamento del trattamento termico, vengono illustrati i bilanci ambientali ed energetici dell'incenerimento evidenziando come questi processi siano tra i più controllati nel panorama industriale italiano ed internazionale e che i

residui prodotti sono ormai avviati quasi integralmente al riciclaggio, non gravando pertanto sulle quote di smaltimento della nazione.

Relativamente alle emissioni in atmosfera si rendiconta, con diversi casi di studio ben dettagliati e focalizzati su diversi elementi inquinanti, quale sia l'impatto dell'inceneritore nell'area di interesse, impatto che per tutti gli elementi ed i composti analizzati si rileva marginale ed in alcuni casi addirittura assolutamente non significativo.

Importante è sottolineare il contributo alla decarbonizzazione degli impianti waste to energy come conseguenza delle emissioni evitate per produrre la stessa energia con il mix di combustibili del Paese e a causa dello scenario alternativo dello smaltimento in discarica. Da ciò discende un contributo positivo di oltre 6 milioni di tonnellate di CO₂ evitate rispetto allo smaltimento in discarica.

Non trascurabile, infine, è la disamina circa gli aspetti autorizzativi e di controllo ai fini della comprensione dell'elevato livello di attenzione che caratterizza questa attività di recupero dei rifiuti.

Nella seconda parte, dedicata alla analisi di studi epidemiologici condotti in diverse aree del pianeta in cui sono presenti impianti di incenerimento, viene posto in risalto che, nelle attività di ricerca più recenti e quindi più idonee a dar riscontro dell'effettivo impatto che gli inceneritori attualmente in esercizio hanno sulla salute dell'uomo e sull'ambiente (impianti rispondenti alle BAT, le migliori tecnologie disponibili, e conformi alla legislazione sull'incenerimento dei rifiuti e di conseguenza anche ai limiti alle emissioni), non si hanno evidenze circa la presenza di fattori di rischio di cancro o di effetti negativi sulla riproduzione o sullo sviluppo umano.

Ritengo che, in ogni settore di attività, assumere decisioni consapevoli implica innanzitutto dare un ruolo primario alla conoscenza. Partendo da tale premessa, l'auspicio è che questo lavoro possa costituire non solo un contributo in un settore industriale fondamentale per il raggiungimento dell'autosufficienza nella gestione dei rifiuti con la chiusura del ciclo integrato, ma anche un documento che conferma quanto sia importante per lo sviluppo dei territori e delle società, applicare ai processi - qualsiasi essi siano - una capacità di analisi scientifica rigorosa.

Renato Boero
Coordinatore Commissione Impianti
di trattamento e smaltimento Utilitalia

1. RIFIUTI: GENERALITÀ E PRODUZIONE IN ITALIA E IN EUROPA

È rifiuto “qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi”. I rifiuti prodotti da utenze domestiche e quelli a questi simili per qualità sono classificati come “rifiuti urbani”, le tipologie rimanenti come “rifiuti speciali”. Si distinguono poi i “rifiuti pericolosi” dai “non pericolosi” sulla base di alcune caratteristiche di pericolosità (contenuto di certe sostanze, possibilità di rilascio di alcune specie chimiche).

Infine, a livello di dettaglio i rifiuti sono classificati mediante un articolato sistema di codici EER (Elenco Europeo dei Rifiuti) che ne definisce l'origine e le principali caratteristiche (compresa la pericolosità o meno).

1.1 La produzione in Italia

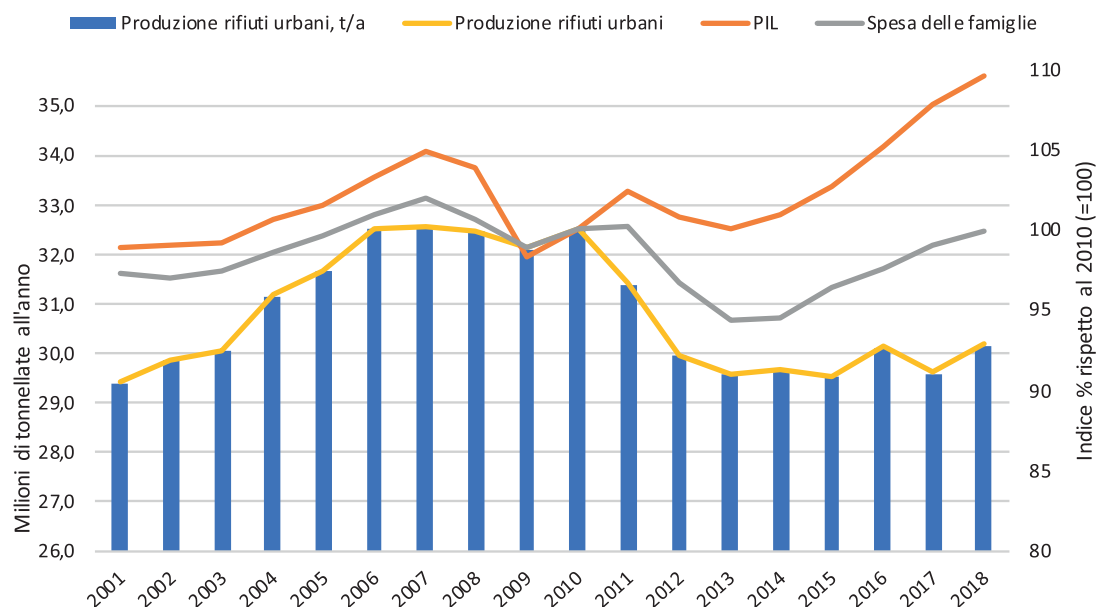
Le statistiche sulla produzione e sulla gestione dei rifiuti in Italia sono piuttosto accurate per quanto riguarda i rifiuti urbani, mentre nel caso dei rifiuti speciali sono presenti maggiori incertezze. Ciò è dovuto in parte ai sistemi di contabilizzazione in uso, in parte alle caratteristiche del sistema di classificazione basato sui codici EER. Infatti, per i rifiuti urbani vige l'obbligo di una contabilità accurata e sono catalogati mediante un limitato numero di codici rifiuto (il capitolo 20 dell'EER). I processi di trattamento applicati ai rifiuti urbani (per esempio la selezione, oppure l'incenerimento) producono rifiuti speciali. Di conseguenza, i rifiuti speciali possono essere costituiti anche da materiale che si genera dal trattamento dei rifiuti urbani, oltre che dal trattamento degli stessi rifiuti speciali.

Le statistiche ufficiali, sia per i rifiuti urbani sia per quelli speciali, sono redatte annualmente da ISPRA. In particolare, al momento della scrittura di questo documento, le statistiche più recenti disponibili sono raccolte nel Rapporto Rifiuti Urbani 2019, che contiene tutti i dati sino all'anno 2018, e il Rapporto Rifiuti Speciali 2018, che contiene tutti i dati sino all'anno 2017.

Nel 2018 l'Italia ha complessivamente prodotto circa 30 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, approssimativamente in linea con la media degli ultimi vent'anni. Il grafico in Figura 1.1 mostra la produzione annuale di rifiuti urbani in Italia dal 2001 al 2018, nonché i corrispondenti andamenti del Prodotto Interno Lordo (PIL) e dell'indicatore della spesa delle famiglie, con riferimento all'anno 2010. È risaputo, infatti, che la produzione dei rifiuti ha storicamente manifestato una forte correlazione con l'andamento dell'economia.

Dal grafico si rileva che negli ultimi vent'anni, la produzione di rifiuti urbani in Italia è passata da una significativa crescita tra il 2000 e il 2006 dietro la spinta di un periodo economico favorevole, fino a quasi a raggiungere 33 milioni di tonnellate all'anno (Mt/a), a un periodo di stagnazione tra il 2006 e il 2010, in corrispondenza della crisi economica, sino alla decrescita degli anni 2010 - 2013, stabilizzandosi poi sui livelli attuali di circa 29 - 30 Mt/a, in linea con i livelli d'inizio millennio.

Figura 1.1 - Produzione di rifiuti urbani in Italia dal 2001 al 2018 (fonte dei dati: Rapporto ISPRA sui RU 2019) e corrispondenti andamenti a valori concatenati (riferimenti all'anno 2010) del PIL italiano e dell'indicatore di spesa delle famiglie (fonte dei dati: Eurostat)

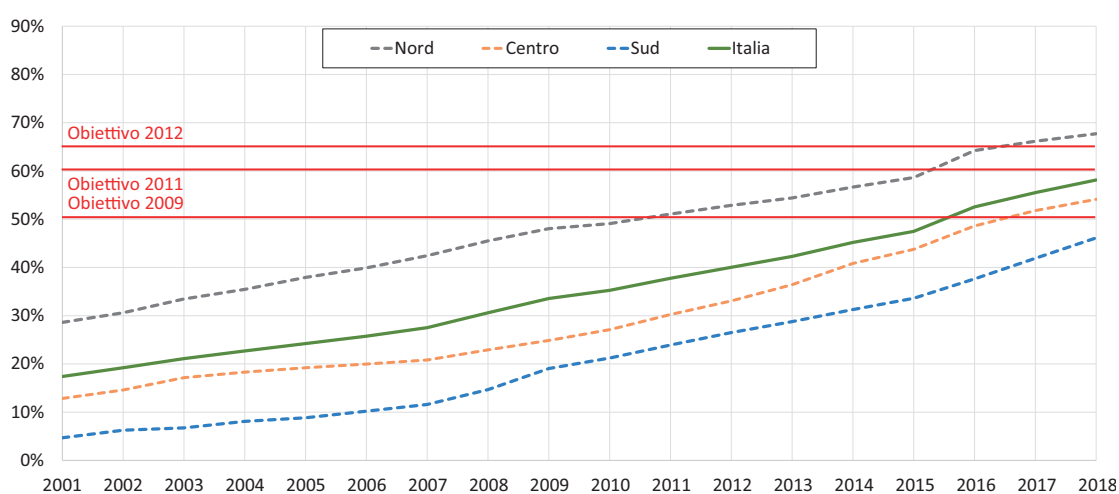


Se nel periodo 2001 - 2013 si conferma la sostanziale correlazione tra la produzione di rifiuti urbani e gli indicatori macroeconomici, dal 2013 in poi sembra che tale legame si sia quantomeno parzialmente allentato, auspicabilmente anche a esito dell'accresciuta attenzione politica in tema di gestione dei rifiuti (maggiore cura nella classificazione, nella contabilizzazione, nell'introduzione di tecniche che portano, indirettamente, alla riduzione della produzione di RU, quali la raccolta differenziata, la raccolta porta-a-porta, la tariffazione puntuale), nonché di una maggiore attenzione da parte della popolazione verso la tematica della riduzione dei rifiuti, anche attraverso fenomeni di cambiamento comportamentale.

1.2 Raccolta differenziata e tassi di avvio al riciclaggio

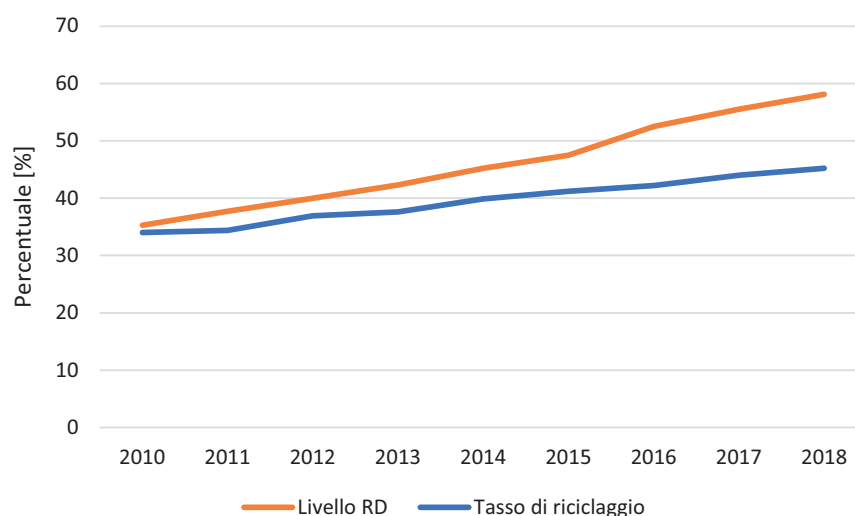
La Raccolta Differenziata (RD) dei rifiuti urbani è costantemente cresciuta nel tempo su base media nazionale, come evidenziato dal grafico in Figura 1.2. Ciò è, tuttavia, il risultato di una situazione alquanto diversificata tra le varie Regioni, con alcune impegnate nella pratica già dai primi anni 2000 e altre dove la sua introduzione risale solo agli anni recenti. Si evidenzia che l'obiettivo di RD più ambizioso fissato dalla normativa vigente (65% al 2012) è stato raggiunto solo da alcune Regioni e in ogni caso in ritardo rispetto a quanto prescritto.

Figura 1.2 - Evoluzione della RD negli anni per l'Italia e le tre macroaree (Nord, Centro e Sud - fonte dei dati: Catasto Rifiuti ISPRA)



Oltre al livello di raccolta differenziata, la normativa definisce anche il tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani, considerando soltanto quota parte di quanto raccolto in modo differenziato. Sono infatti escluse alcune tipologie di materiali e una quota degli scarti generati dai processi di selezione. Pertanto, il tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani è inferiore al livello di raccolta differenziata e negli anni recenti ha mostrato una crescita apprezzabilmente inferiore rispetto all'incremento di RD, come mostrato in Figura 1.3.

Figura 1.3 - Confronto tra livello di RD e tasso di riciclaggio
(fonte dei dati: Rapporto Rifiuti Urbani ISPRA 2019)



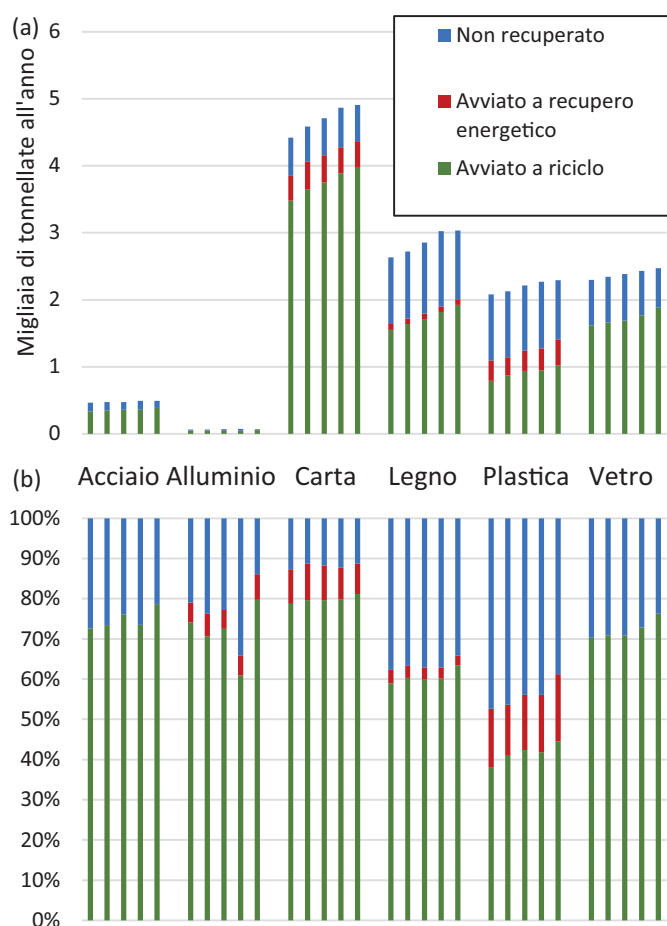
Andando a considerare le diverse tipologie di materiali è possibile, infine, definire tassi di avvio a riciclaggio e a recupero come rapporti tra le quantità di materiale effettivamente inviato a riciclo (in gergo “riciclato”) / recupero e quanto immesso sul mercato nella medesima annualità.

La normativa vigente definisce come recupero *“qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile, sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale”*. Per riciclaggio, invece, si intende *“qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il trattamento di materiale organico ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento”*.

La Figura 1.4 evidenzia sia i quantitativi complessivi di imballaggi immessi al consumo, avviati al riciclaggio e al recupero energetico negli anni 2014-2018, sia i corrispondenti tassi di avvio a riciclaggio e a recupero. Il grafico mostra che di circa mezzo milione di tonnellate all'anno di imballaggi in acciaio immessi nel mercato italiano, una quota tra il 70 e l'80% è avviata a riciclaggio. Gli imballaggi in alluminio, per i quali l'impresso sul mercato è di poche centinaia di migliaia di tonnellate all'anno, sono avviati a riciclaggio tra il 60 e l'80%, mentre è presente una quota di poco inferiore al 10% di recupero di energia, ovvero recuperata dalle scorie di combustione degli inceneritori. Gli imballaggi in carta sono immessi sul mercato italiano per quasi cinque milioni di tonnellate all'anno, di cui ne è avviato a riciclaggio una quota tra il 60 e il 70%, mentre poco meno del 10% è recuperato energeticamente. Gli imballaggi in legno, immessi al consumo per circa tre milioni di tonnellate all'anno, sono avviati al riciclaggio per una quota tra il 25 e il 35%, mentre la quota di recupero energetico si attesta a solo il 2-3%. Gli imballaggi in plastica, immessi sul mercato

italiano per più di due milioni di tonnellate all'anno, sono avviati al riciclaggio per il 40-45% e per il 10-15% a recupero energetico. Infine, gli imballaggi in vetro, immessi al consumo per poco meno di due milioni e mezzo di tonnellate all'anno, per il 70-75% sono avviati a riciclaggio.

Figura 1.4 - (a) Quantitativi di materiali per imballaggi immessi al consumo, avviati al riciclaggio (in gergo "riciclati") e avviati al recupero energetico negli anni 2014-2018; (b) corrispondenti tassi d'avvio a riciclaggio e a recupero (fonte dei dati: "L'Italia del riciclo 2019" a cura di Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile - FISE)



1.3 Scarti provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti

I trattamenti di selezione dei rifiuti, finalizzati all'avvio a riciclo in impianti successivi, comportano la produzione di residui potenzialmente in tutte le fasi di lavorazione. In questa sede ci si occupa principalmente di alcuni scarti solidi che sono generati in vari momenti dei processi interessati.

1.3.1 Scarti dal trattamento della frazione organica

Lo scenario attuale di gestione della frazione organica dei rifiuti urbani (FORSU) raccolta per via differenziata prevede l'avvio a compostaggio oppure a digestione anaerobica, quest'ultima generalmente seguita dal compostaggio del digestato.

In linea generale, negli impianti devono essere rimossi tutti i materiali non idonei al processo perché conferiti erroneamente, che prendono il nome di Materiale Non Compostabile (MNC) come, a titolo di esempio, plastiche, elementi metallici, vetro. Elemento cruciale è anche la tipologia di sacchetti utilizzati per la raccolta, che devono essere compatibili con la tecnologia impiantistica. Sui grandi numeri si rileva ancora come numerosi utenti utilizzino sacchetti di materiale non idoneo (in plastica non biodegradabile, ma anche in materiale biodegradabile però in tempi non necessariamente compatibili con il processo biologico che caratterizza l'impianto di destinazione). Per tale motivo in alcuni impianti, in particolare di digestione anaerobica, tutti i sacchetti in plastica o bioplastica vengono rimossi in testa all'impianto, indipendentemente dall'essere o meno conformi.

Va inoltre precisato che gli scarti effettivamente generati dagli impianti di trattamento della frazione organica possono risultare anche il quadruplo delle effettive impurezze rilevate nel materiale in ingresso come MNC (Corepla et al., 2017), ciò a causa di effetti di trascinamento (ovvero, il Materiale Non Compostabile trattiene parte del materiale organico) che si verificano durante la separazione dei materiali indesiderati, favoriti dalla natura stessa dei sacchetti in plastica.

La destinazione più opportuna per gli scarti generati in testa all'impianto e durante le fasi di trattamento è l'incenerimento, se è disponibile un impianto a distanza economicamente sostenibile. Se dovessero invece essere conferiti a discarica dovrebbero presumibilmente subire un pretrattamento per ottenerne una biostabilizzazione a norma.

1.3.2 Scarti dalla produzione di Combustibile Solido Secondario (CSS)

Il Combustibile Solido Secondario (CSS) è un materiale che può essere prodotto a partire dal Rifiuto Urbano Residuo (RUR) per generare un flusso più idoneo ad attività di recupero energetico in impianti industriali (tipicamente cementifici). Le modalità di produzione del CSS per questo flusso di rifiuti sono trattate nel Cap. 5. Nel presente paragrafo si tratterà invece la questione degli scarti che si generano in funzione della qualità di CSS che si vuole produrre. Più si lavora il rifiuto per isolarne la componente combustibile, e dunque migliorarne le caratteristiche, più cresce la quantità di materiali da smaltire con i flussi secondari generati dal trattamento. Se si escludono i materiali estratti dal processo di trattamento che hanno un valore in sé (ferro, alluminio) oppure una riciclabilità almeno di principio (inerti), operazioni in coda al trattamento

possono, ad esempio, generare flussi di frazioni fini a diverso livello di stabilizzazione biologica. Ci si trova perciò di fronte a scarti che possono richiedere soluzioni specifiche per renderli compatibili con uno smaltimento in discarica a norma.

1.3.3 Scarti dalla selezione della plastica

La selezione dei flussi di materiali plastici provenienti dalla raccolta differenziata è un processo che, nonostante gli sviluppi tecnologici degli ultimi anni, rimane particolarmente complesso a causa della maggiore eterogeneità dei materiali raccolti. È infatti evidente come la maggiore pressione verso la raccolta differenziata, della plastica in particolare, unita alla complessità degli imballaggi immessi sul mercato, comporti il rischio di un peggioramento della qualità del materiale. Per alcuni tipi di plastiche, tipicamente quelle rigide in PET e HDPE (bottiglie e flaconi), la separazione è concettualmente semplice, così come la successiva valorizzazione sul mercato del riciclaggio. Per altri polimeri quali la plastica in film, che risulta peraltro in costante crescita, la valorizzazione sul mercato del riciclaggio è invece molto più problematica. Addirittura negli ultimi periodi si sono registrati valori di mercato negativi per il film plastico, vale a dire si è riscontrata la necessità di pagarne lo smaltimento anziché poterlo collocare secondo un dato prezzo di mercato (Corepla, 2019).

In generale la lavorazione del flusso di materiali plastici raccolti per via differenziata genera un flusso secondario misto a cui si dà il nome di Plasmix: si tratta dell'insieme di plastiche eterogenee, miscelate con impurità non plastiche, che non sono recuperate come singoli polimeri. In Italia la quantità annua di Plasmix è destinata ad aumentare con l'aumento del livello di raccolta differenziata, ancora basso in alcune zone. Il recupero energetico è attualmente il destino dominante per tale materiale; tuttavia si è rilevato negli ultimi anni un sensibile aumento del ricorso alla discarica, che ha riguardato ben 110.000 tonnellate nel 2018, a fronte delle 12.000 del 2016. Questo è dovuto sia all'aumento della frazione estranea non riciclabile e non recuperabile energeticamente, presente nella raccolta differenziata, sia alla difficoltà di trovare sbocchi in impianti di recupero energetico.

1.3.4 Scarti dal riciclaggio della carta

Il settore della produzione della carta genera mediamente il 6,5% di residui da riciclaggio, da destinare a discarica o a recupero energetico. Tale flusso è rappresentato dallo scarto di pulper, un rifiuto composto prevalentemente di materie plastiche miste. La quantità di scarto di pulper generata in Italia è di 300.000 t/anno, e in linea di principio si tratta di un materiale senz'altro idoneo ad essere avviato a recupero energetico (Assocarta, 2017).

1.3.5 Scarti dal trattamento dei veicoli a fine vita: il car fluff

Si tratta del residuo generato dalle operazioni di frantumazione e di selezione dei rottami di veicoli a fine vita prodotti dagli impianti di autodemolizione. In Italia le quantità generate sono intorno a 180.000 t/anno. Il *car fluff* è in prevalenza costituito da materiali ad alto contenuto energetico: si tratta infatti di plastica, gomma, tessuti,

carta, legno e materiale da imbottiture con in minima quantità materiali non combustibili, questi ultimi prevalentemente metallici. Per questo motivo è senza dubbio un materiale particolarmente interessante per essere avviato a recupero energetico.

1.4 I rifiuti speciali in Italia

La produzione di Rifiuti Speciali Non Pericolosi (RSNP) e Pericolosi (RSP) in Italia è stimata, per il 2017, rispettivamente pari a 129,2 e 9,7 milioni di tonnellate. ISPRA indica che la quantità di RSNP include oltre 10 milioni di tonnellate di rifiuti speciali derivanti dal trattamento di rifiuti urbani.

I contributi delle principali attività economiche alla produzione di RSNP nel 2017 sono riportati in Tabella 1.1 e indicano, quali settori principali, quello delle Costruzioni e Demolizioni (C&D) con 57,0 Mt/a per circa il 44% del totale, quello del trattamento dei rifiuti e delle attività di risanamento, a esempio i fanghi di depurazione, con 32,9 Mt/a per circa il 26% del totale, e quello manifatturiero con 26,0 Mt/a per circa il 20% del totale.

Tabella 1.1 - Produzione di RSNP in Italia nel 2017 per settore di attività economica
(fonte dei dati: Rapporto Rifiuti Speciali 2019 di ISPRA)

Settore di attività	Cod. ATECO	Mt	%
Attività manifatturiere	10-33	26,0	20,12
Trattamento rifiuti e attività di risanamento	38-39	32,9	25,46
Costruzione e Demolizione (C&D)	41-43	57,0	44,12
Altri settori	-	13,3	10,29
Totale		129,2	100,00

Oltre alle informazioni sulla produzione di RSNP, il Rapporto Rifiuti Speciali 2019 di ISPRA riporta anche le modalità di gestione, secondo la codifica delle operazioni di Recupero ("R") e smaltimento ("D" = "*Disposal*") definite dalla normativa. Tali dati sono riassunti per il 2017 in Tabella 1.2.

Tabella 1.2 - Modalità di gestione dei RSNP nel 2017 in Italia
(fonte dei dati: Rapporto Rifiuti Speciali 2019 di ISPRA)

Settore di attività	Cod.	Mt	%
Recupero energetico	R1	1,9	1,38
Altre operazioni di recupero	R...	110,8	80,52
Smaltimento in discarica	D1	10,9	7,92
Incerimento senza recupero energetico	D10	0,8	0,58
Altre operazioni di smaltimento	D...	13,2	9,59
Totale		137,6	100,00

Le quantità di RSNP prodotti e gestiti non corrispondono a causa di una serie di contributi, quali i rifiuti prodotti da attività di gestione dei rifiuti (che sono rifiuti già contabilizzati quando prodotti per la prima volta da altre attività), i rifiuti sottoposti

a operazioni di stoccaggio in vista del successivo recupero / smaltimento, i rifiuti che subiscono trattamenti intermedi, perdite di processo e, infine il saldo import / export con l'estero.

Le voci R1 e D10 riguardano il trattamento termico, distinguendo tra recupero energetico (operazione R1) e incenerimento (D10) senza recupero energetico. Tuttavia, per i RSNP tale classificazione non è netta come per i rifiuti urbani (si veda il par. 2.4), poiché per questa tipologia di rifiuti la vigente normativa non definisce un criterio univoco analogo a quello esistente per i rifiuti urbani. Infatti, il Rapporto ISPRA specifica che buona parte dei RSNP inviati a operazione D10 sono trattati in inceneritori di rifiuti urbani che possiedono la qualifica R1. Conseguentemente, tali RSNP sono recuperati energeticamente, piuttosto che smaltiti tramite incenerimento come indicherebbe il codice D10. Complessivamente, le operazioni R1 e D10 sono state applicate nel 2017 a circa 2,7 Mt di RSNP diversi da quelli prodotti dal TMB dei rifiuti urbani. Si tratta, per esempio, di pneumatici fuori uso, solventi, sfridi di lavorazione, fanghi di depurazione, etc., ma anche RSNP decadenti dal trattamento della raccolta differenziata dei rifiuti urbani, come gli scarti di selezione e del recupero di materia. Elaborando i dati riportati da ISPRA (Rapporto rifiuti speciali 2019), è possibile quantificare i RSNP combustibili, non provenienti da TMB di rifiuti urbani, in almeno 10 Mt/a. A tale risultato si giunge considerando la quantità di 2,7 Mt/a già ora inviata a trattamento termico, una quota di quanto attualmente inviato a discarica (10,8 Mt) e una quota di fanghi di depurazione o i materiali da essi derivati (attualmente sottoposti a trattamenti biologici - R10) che l'evoluzione normativa in atto sembra indirizzare, in futuro, a trattamento termico. Si ritiene questo quantitativo inclusivo anche degli scarti prodotti dalle operazioni di recupero di materia, tanto dei RSNP, quanto dei rifiuti urbani.

1.5 Scenari internazionali e criticità derivanti da flussi verso mercati esteri

Rifiuti di plastica non industriale e carta da macero non sono più accettati in Cina dal gennaio 2018. Questa decisione ha messo in crisi il settore del riciclaggio in Italia in considerazione della elevata percentuale dei flussi da raccolta differenziata che si esportavano in tale Paese. In Figura 1.5 è riportato il quadro internazionale della importazione dei rifiuti plastici poco prima del blocco dell'importazione di tali rifiuti in Cina (Berardi e Valle 2018): è chiaro il ruolo dominante che ha avuto la Cina su scala planetaria. Successivamente al blocco cinese, una parte delle esportazioni è stata ripartita su altri Paesi, prevalentemente del sud-est asiatico, la cui capacità di importazione però non equivale a quella cinese (Figura 1.6).

Figura 1.5 - Quadro internazionale della importazione dei rifiuti plastici poco prima del blocco dell'importazione di tali rifiuti in Cina

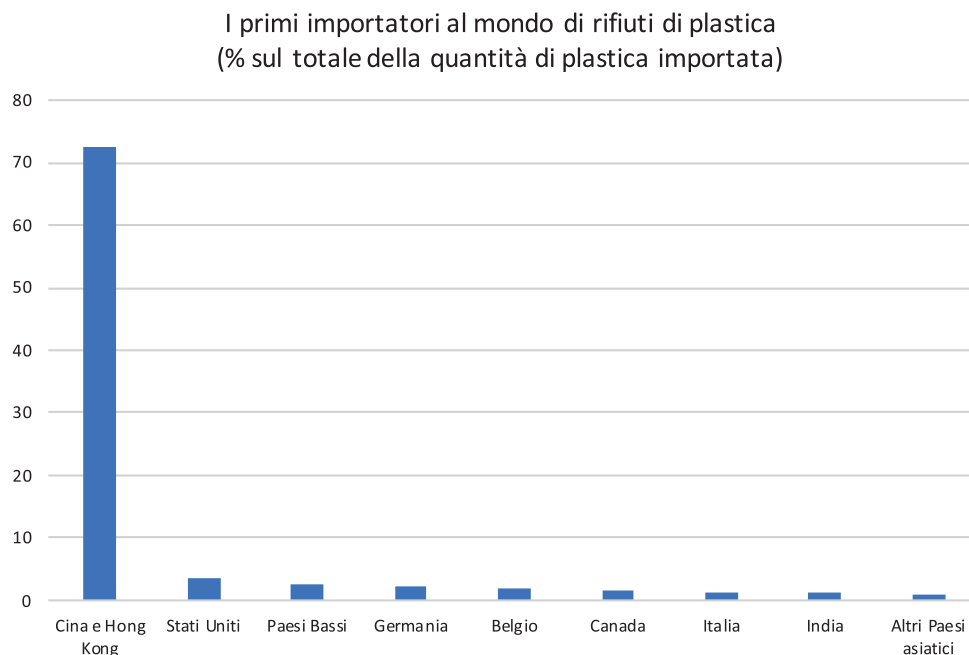
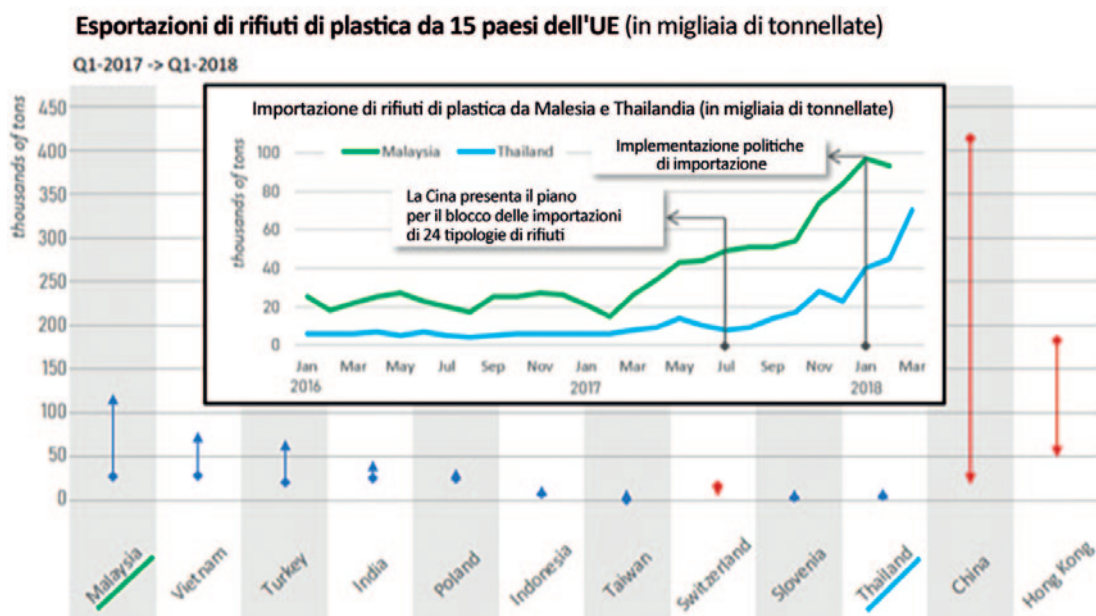


Figura 1.6 - Variazione delle esportazioni di rifiuti in plastica a seguito della chiusura del mercato cinese

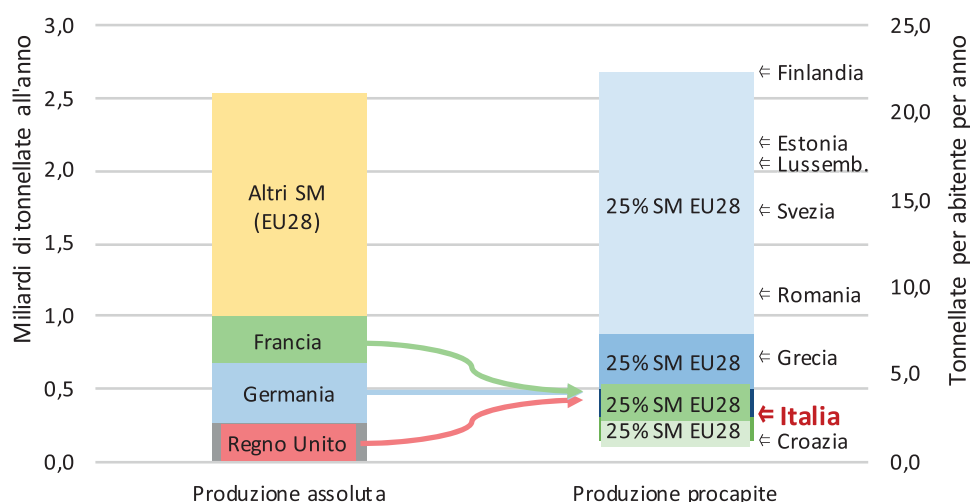


La crisi indotta alla filiera del riciclaggio di tali flussi può in parte spiegare l'incremento di incendi verificatisi in depositi italiani nell'ultimo periodo, riguardanti prevalentemente stoccaggi di materiali plastici e cellulosici, stante la difficoltà nel trovare sbocchi di trattamento adeguati alla loro gestione in territorio nazionale. Il caso Cina ha evidenziato le criticità di una gestione dei flussi di rifiuti più problematici appoggiata sull'estero. L'insufficienza di impianti per la gestione dei rifiuti italiani si osserva anche per il CSS, materiale di cui è significativa l'esportazione (vedi par. 5.2). Anche l'esportazione di ceneri volanti e residui di trattamento delle emissioni atmosferiche da impianti di incenerimento verso siti di smaltimento (tipicamente miniere sotterranee autorizzate allo stoccaggio di rifiuti pericolosi) risulta una pratica di esportazione di rifiuti, e come tale può essere soggetta in futuro a problemi come quelli evidenziati sopra.

1.6 Il contesto europeo: produzione rifiuti, raccolta differenziata e tassi di avvio al riciclaggio

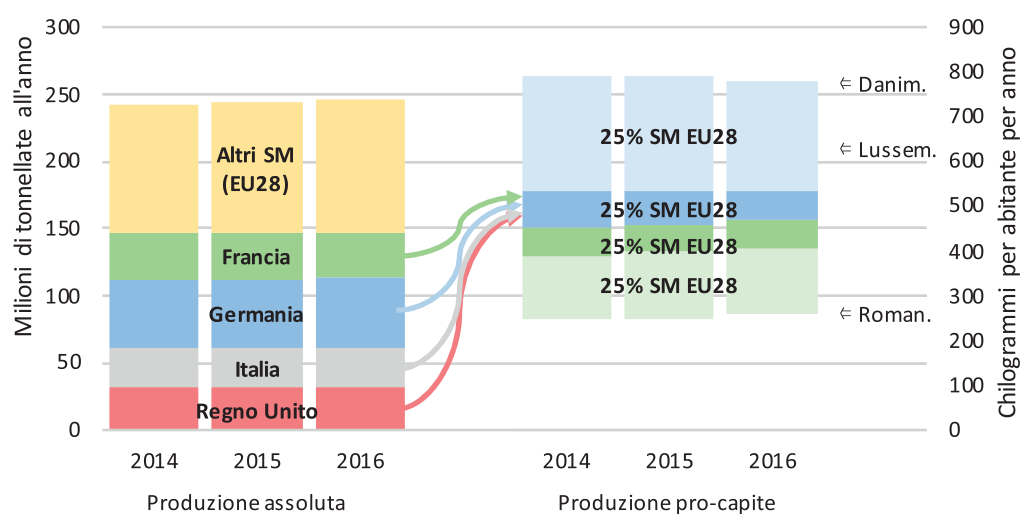
La produzione complessiva di rifiuti (urbani e speciali) nell'EU28 (Unione a 28 Stati) è quantificata da Eurostat in 2.537 Mt per il 2016, l'ultima annualità per la quale sono disponibili i dati. I principali contribuiti (superiori al 10% del totale) sono ascrivibili a Germania, Francia e Regno Unito. L'Italia conta per poco più del 6% del totale. Il grafico in Figura 1.7 riporta sia la produzione assoluta di rifiuti, sia la distribuzione statistica della produzione pro-capite annua, sempre riferita all'EU28 per il 2016.

Figura 1.7 - Produzione assoluta e pro-capite annua complessiva di rifiuti (urbani + speciali) nell'UE28 (fonte dei dati: Eurostat)



In termini di produzione per abitante, si apprezza un'ampia variabilità, con il valore minimo conseguito dalla Croazia, con 1,3 t e il valore massimo della Finlandia con oltre 22 t. Questa situazione è sicuramente legata sia a fattori socioeconomici (per es. in Svezia e Finlandia sono prodotti molti RS dalla manutenzione dei boschi), sia a possibili rilevanti differenze nella modalità di contabilizzazione dei quantitativi. La situazione relativa ai soli rifiuti urbani, pur conservando un'apprezzabile variabilità, risulta più omogenea, come evidenziato in Figura 1.8, con riferimento alle annualità comprese tra il 2014 e il 2017.

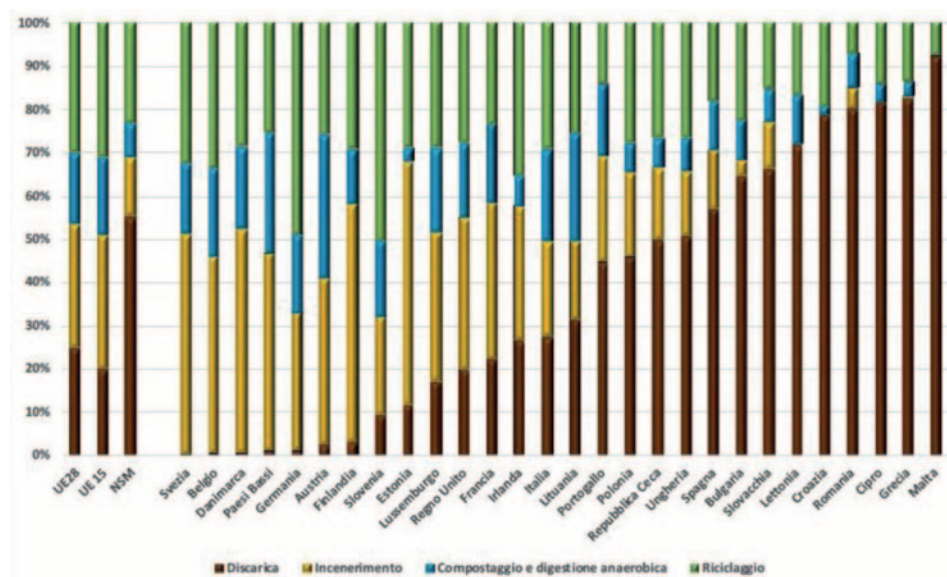
Figura 1.8 - Produzione assoluta e pro capite annua di rifiuti urbani nell'UE28
(fonte dei dati: Rapporto Rifiuti Urbani 2018 di ISPRA)



La produzione totale di rifiuti urbani tra il 2014 e il 2016 per l'UE28 è stata di poco meno di 250 Mt. Gli Stati Membri che contribuiscono maggiormente (più del 10% ognuno) a tale risultato sono Germania, Francia, Italia e Regno Unito. In termini pro-capite, la produzione minima è conseguita dalla Romania, con poco più di 250 kg/ab*anno, mentre quella massima si ha in Danimarca, con circa 770 kg/ab*anno. Anche in questo caso le differenze sono riconducibili alle peculiarità socioeconomiche dei diversi Stati, nonché a diverse modalità di classificazione dei rifiuti urbani. L'Italia si colloca in una posizione centrale, cioè in linea con la media europea di circa 500 kg/ab*anno.

Le modalità di gestione dei rifiuti urbani adottate nel 2016 dagli Stati Membri dell'UE28 sono rappresentate in Figura 1.9, da cui si evincono profonde differenze, soprattutto in merito al ricorso alla discarica. Infatti, i Paesi più virtuosi, collocati alla sinistra del grafico, hanno già conseguito importanti obiettivi di riduzione del ricorso a questa forma di smaltimento. Questo è avvenuto generalmente grazie ad una concomitante azione di recupero di materia (riciclaggio degli imballaggi e trattamenti biologici della frazione organica) e di recupero di energia dalla frazione residua.

Figura 1.9 - Modalità di gestione dei RU adottate nell'UE28 nel 2016
(immagine tratta dal Rapporto Rifiuti Urbani 2018 di ISPRA).



1.7 Le direttive comunitarie sulla gestione dei rifiuti: situazione attuale e linee di indirizzo strategico

La gestione dei rifiuti nell'Unione Europea è regolata dalla *Waste Framework Directive* (WFD - Dir. 2008/98/EC), ossia la direttiva quadro sulla gestione dei rifiuti. Nella legislazione italiana tale direttiva è recepita all'interno del Testo Unico Ambientale (TUA, ossia il D.Lgs. 152/2006).

La WFD si basa su alcuni concetti cardine della gestione dei rifiuti, quali:

- la riduzione dell'uso di risorse;
- la considerazione dell'intero ciclo di vita dei materiali / prodotti;
- il conseguimento del miglior risultato ambientale complessivo;
- l'applicazione del principio "chi inquina, paga" attraverso il meccanismo della responsabilità estesa del produttore.

La gerarchia di operazioni che la Direttiva definisce per la gestione dei rifiuti è la seguente:

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclo;
- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento.

Tale gerarchia specifica la priorità d'applicazione delle operazioni di gestione, secondo la quale è preferibile prevenire la produzione di rifiuti rispetto a qualsiasi altra

modalità di gestione. Quando il rifiuto è stato prodotto, è preferibile innanzitutto prepararlo per il riutilizzo e secondariamente riciclarlo. Se nessuna di queste opzioni è sostenibilmente perseguibile, allora è preferibile ricorrere ad altre forme di recupero, come il recupero di energia, prima di ricorrere allo smaltimento.

La WFD specifica anche che è possibile discostarsi da questa gerarchia generale in casi particolari, qualora sia dimostrabile il maggiore beneficio ambientale sulla base di una analisi del ciclo di vita (LCA = *Life Cycle Assessment*).

L'ultima modifica della WFD è avvenuta a fine maggio 2018, con l'introduzione del cosiddetto "Pacchetto sull'Economia Circolare", ed è stata recepita dalla Legislazione italiana nel settembre del 2020.

Il "Pacchetto sull'Economia Circolare" rafforza alcuni concetti che erano già contenuti nella WFD, precisando maggiormente alcune definizioni anche al fine di migliorare la raccolta e l'elaborazione dei dati statistici sulla gestione dei rifiuti. Particolare attenzione è posta all'obiettivo di mantenere i materiali il più a lungo possibile all'interno del ciclo di produzione e consumo dei beni, in modo da minimizzare, da un lato, il fabbisogno di risorse materiali vergini, dall'altro, il quantitativo di rifiuti da sottoporre ad altre forme di recupero e/o a smaltimento finale.

Il rafforzamento di alcuni concetti è perseguito anche mediante l'introduzione di nuovi obiettivi. Per esempio, nell'ambito della gestione dei rifiuti urbani sono stati introdotti i seguenti obiettivi di "preparazione per il riutilizzo e riciclaggio":

- almeno il 55% dei rifiuti urbani entro il 2025;
- almeno il 60% dei rifiuti urbani entro il 2030;
- almeno il 65% dei rifiuti urbani entro il 2035.

Nel caso dell'Italia, questi obiettivi si sovrappongono agli obiettivi già fissati dalla legislazione italiana in termini di Raccolta Differenziata (RD) dei rifiuti urbani (art. 205, c.1 del TUA). Come mostrato nella precedente Figura 1.2, l'obiettivo di RD al 65% fissato dalla norma italiana per il 2012 non è ancora stato raggiunto da tutte le regioni italiane e, tantomeno, dall'Italia nel suo complesso.

Come trattato nel par. 1.2, la differenza tra i quantitativi di rifiuti urbani avviati a "preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio" e quelli sottoposti a RD risiede principalmente negli scarti di selezione / cernita, ossia il trattamento preliminare effettuato sui rifiuti da RD prima di essere inviati ai relativi processi di recupero di materia (cioè di riciclaggio). Si tratta dei RSNP prodotti dai processi di trattamento dei rifiuti urbani, di cui si è già trattato nei paragrafi precedenti e che ammontano a quantità di alcuni milioni di tonnellate l'anno.

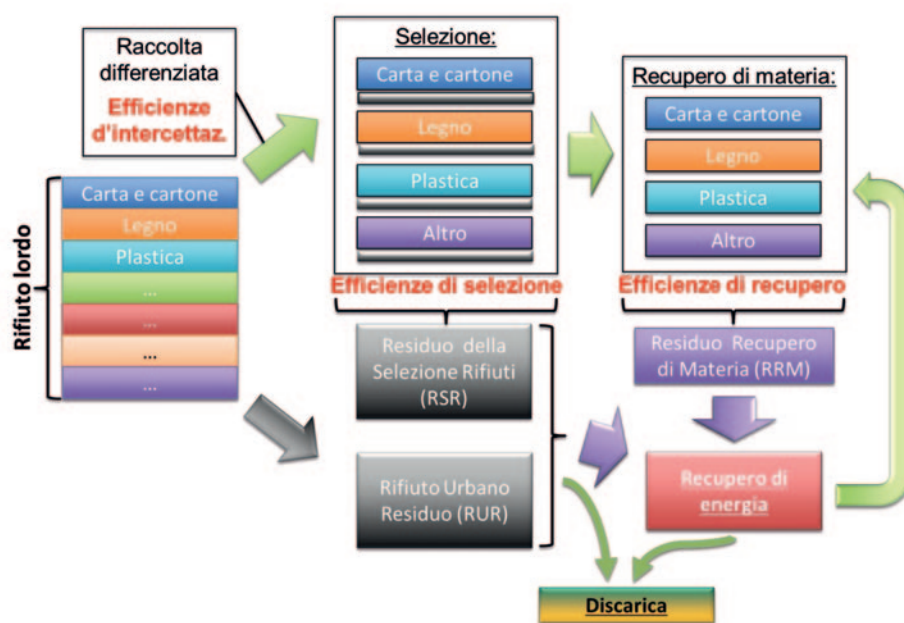
Ulteriori scarti possono essere prodotti dai processi di riciclaggio veri e propri. Per esempio, la carta da RD mono-materiale solitamente non è sottoposta a selezione, ma inviata direttamente all'impianto di riciclaggio, ovvero la cartiera. Nel processo di riciclaggio è, quindi, prodotto lo "scarto di pulper", come illustrato al par. 1.3.4.

I dati sulla RD sono al lordo di tutti gli scarti prodotti dai successivi processi di trattamento, mentre i dati sulla "preparazione per il riutilizzo e riciclaggio" escludono gli scarti prodotti dalla selezione preliminare del materiale, pur includendo comunque gli scarti originati dal processo di riciclaggio. La precedente Figura 1.3 mostra come i due indicatori sono evoluti negli ultimi anni in Italia, con l'ampliarsi del divario

imputabile ai crescenti contenuti di impurezze e materiali estranei nei rifiuti da RD, come conseguenza della crescita di quest'ultima. Per quanto i dati riportati in tale grafico non siano direttamente utilizzabili per quantificare l'entità di suddetti scarti, il progressivo discostarsi delle linee ne indica in ogni caso l'inevitabile aumento.

La Figura 1.10 schematizza la struttura di un sistema di gestione dei rifiuti urbani organizzato conformemente ai dettami della WFD. In tale schema si rileva come tutto quanto non idoneo al riciclo, poiché raccolto in modo indifferenziato, ovvero decadente dai processi di selezione e recupero di materia conseguenti alla RD, è prioritariamente inviato a recupero di energia. A discarica sono inviate solo quelle tipologie di rifiuti non recuperabili energeticamente. Il recupero d'energia è, inoltre, considerato parte attiva del sistema di recupero di materia, poiché gran parte dei residui solidi prodotti durante il processo sono reimmessi nel circolo dei materiali (per esempio i metalli estratti dalle scorie, così come la frazione inerte utilizzata quale materia prima per la produzione di cemento e calcestruzzo).

Figura 1.10 - Schema della struttura di un sistema di gestione dei rifiuti urbani organizzato secondo i dettami della WFD



1.8 Situazione impiantistica in Italia

Il Rapporto Rifiuti Urbani 2019 di ISPRA e il Rapporto sul recupero di energia da rifiuti di Utilitalia – ISPRA (2019) riportano la presenza, a fine 2018, di trentotto inceneritori di rifiuti urbani sul territorio nazionale. Nel corso del 2019 hanno cessato l'attività gli impianti di Ospedaletto (PI) e di Ravenna. Prossimamente dovrebbe rientrare in funzione l'impianto di Macomer (NU), dopo un importante intervento di aggiornamento tecnologico. Inoltre, le statistiche ufficiali non considerano l'impianto di Manfredonia (FG), considerandolo impianto di coincenerimento, nonostante sia dedicato esclusivamente all'incenerimento di CSS da rifiuto urbano. All'atto della redazione di questo documento, si possono quindi considerare trentotto installazioni nel parco impiantistico nazionale.

I documenti sopra menzionati riportano svariate informazioni sulle caratteristiche degli impianti e sulla loro distribuzione nel territorio nazionale. La Tabella 1.3 rielabora tali informazioni, localizzando quasi il 68% della capacità di trattamento nel Nord Italia, poco meno del 10% nel Centro Italia e il rimanente 22% circa al Sud Italia e sulle isole.

Tabella 1.3 - Capacità di incenerimento rifiuti urbani in Italia e relativa distribuzione territoriale e per tipologia di rifiuto trattabile (fonte dei dati: Rapporto Rifiuti Urbani 2019 di ISPRA con alcune integrazioni e aggiornamenti)

	Numero di impianti	Carico termico nominale, MW					Capacità di trattamento, t/a		
		RUR	CSS4	CSS3	Totale	%	RUR	CSS4	CSS3
Piemonte	1	206	0	0	206	6,95	530.229	0	0
Valle d'Aosta	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Lombardia	13	910	34	196	1.139	38,37	2.337.582	67.220	335.495
Trentino AA	1	59	0	0	59	1,98	151.384	0	0
Veneto	2	119	0	0	119	4,01	306.212	0	0
Friuli Venezia Giulia	1	67	0	0	67	2,27	172.973	0	0
Liguria	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Emilia Romagna	7	425	0	0	425	14,31	1.092.071	0	0
Nord	25	1.786	34	196	2.016	67,89	4.590.451	67.220	335.495
Toscana	4	130	0	0	130	4,36	333.096	0	0
Umbria	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Marche	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Lazio	1	160	0	0	160	5,39	411.229	0	0
Centro	5	290	0	0	290	9,75	744.325	0	0
Abruzzo	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Molise	1	47	0	0	47	1,58	120.799	0	0
Campania	1	0	340	0	340	11,45	0	672.202	0
Puglia	2	0	0	111	111	3,75	0	0	190.879
Basilicata	1	19	0	0	19	0,63	48.062	0	0
Calabria	1	0	0	60	60	2,02	0	0	102.807
Sicilia	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
Sardegna	2	87	0	0	87	2,92	222.578	0	0
Sud e isole	8	152	340	171	664	22,35	391.439	672.202	293.686
Italia	38	2.228	374	367	2.969	100	5.726.216	739.422	629.181

La Tabella 1.3 riporta la capacità di trattamento degli impianti sia in termini di carico termico nominale, sia in termini di quantità di rifiuto trattabile annualmente. Entrambe tali caratteristiche sono state differenziate in base alla tipologia di rifiuto che può essere trattato dall'impianto considerato.

Il carico termico nominale (espresso in MW) è la grandezza che meglio quantifica la

capacità di trattamento di un impianto. La portata oraria di rifiuto trattato, espressa in massa (t/h), moltiplicata per il suo contenuto energetico, espresso come Potere Calorifico Inferiore (PCI - GJ/t), fornisce il carico termico istantaneo che, in condizioni ordinarie, è pari o inferiore al carico termico nominale.

In questa sede sono state considerate tre tipologie di rifiuto alimentabili agli inceneritori italiani: il RUR, cioè Rifiuto Urbano Residuo, il CSS4, cioè Combustibile Solido Secondario con classe energetica 4, e il CSS3, ossia Combustibile Solido Secondario con classe energetica 3.

Il RUR è quanto residua a valle della RD, ossia la frazione indifferenziata o secca. Per questo rifiuto si è assunto un PCI medio di 10 GJ/t, in linea con quanto mediamente riscontrato negli inceneritori di rifiuti urbani.

Il CSS = "Combustibile Solido Secondario" è prodotto a partire dal RUR mediante impianti di Trattamento Meccanico Biologico (TMB), come descritto al capitolo 5. Per il CSS esiste un sistema di classificazione definito dalla norma tecnica UNI EN 15359, con cinque classi in funzione del PCI. Siccome il PCI è il parametro che più di ogni altro definisce la tipologia di CSS e la sua compatibilità con le tecnologie di combustione adottate dai diversi impianti, sono state considerate due tipologie di tale rifiuto.

Il CSS4, con PCI di 13 GJ/t, ricade nella classe 4 del PCI ed è rappresentativo del rifiuto tritovagliato adatto ad alimentare diversi impianti italiani. Il CSS3, con PCI di 15 GJ/t, ricade nella classe 3 del PCI ed è rappresentativo del precedente CDR (Combustibile Derivato da Rifiuto), per il quale sono stati progettati diversi inceneritori italiani.

Sulla base del carico termico nominale, della tipologia di rifiuto trattabile e di un tasso di utilizzo medio annuo degli impianti dell'81,5% (rappresentativo delle ultime annualità), le ultime tre colonne della Tabella 1.3 riportano le capacità di trattamento annuali disponibili nelle regioni italiane per le diverse tipologie di rifiuti.

Le statistiche ufficiali di ISPRA riportano una quantità di rifiuti termovalorizzati nel 2018 pari a circa 6,3 Mt, di cui quasi 5,6 Mt di origine sicuramente urbana mentre la rimanenza, di circa 0,7 Mt, costituita prevalentemente da RSNP (sono trattati anche alcuni rifiuti speciali pericolosi, prevalentemente rifiuti sanitari a rischio infettivo).

Le valutazioni in Tabella 1.3 riportano una capacità complessiva del parco italiano di poco superiore a 7 Mt. La differenza rispetto a quanto effettivamente trattato nel 2018 risiede in diversi fattori. Innanzitutto, sono stati esclusi dalla valutazione gli impianti che hanno recentemente concluso il proprio esercizio e sono stati inclusi impianti non considerati da ISPRA. Quindi la capacità di trattamento è stata dedicata interamente e unicamente a rifiuti di origine urbana, mentre nella realtà una quota parte è dedicata (e a volte riservata, come nel caso dei rifiuti sanitari) a RS. Spesso i RS trattati presentano PCI apprezzabilmente maggiore degli urbani e il trattamento di una tonnellata di RS può ridurre anche di due o più tonnellate la capacità di trattamento degli urbani. Infine, la fonte principale di questa discrepanza è da ricercare nel forte ricorso al pretrattamento dei rifiuti, effettuato principalmente nelle regioni del Centro e Sud Italia. Con tale pratica si produce CSS4 per alimentare impianti in grado di ricevere anche RUR. La quantità di materiale trattabile dall'impianto diminuisce, mantenendo, tuttavia, all'incirca lo stesso input energetico (potenza termica). Ciò produce tuttavia significativi quantitativi di scarti dal pretrattamento del RUR, che sono prevalentemente smaltiti in discarica.

Nell'ottica di azzerare il ricorso alla discarica, queste pratiche poco virtuose andreb-

bero evitate, favorendo invece approcci che non necessitino della discarica se non per quella piccola frazione di residui non altrimenti riutilizzabili e privi di contenuto energetico.

Le produzioni di CSS4 e CSS3 sono possibili anche senza ricorso alla discarica. Progettando (o a volte, anche solo regolando) opportunamente i processi produttivi, possono ottenersi scarti con caratteristiche energetiche simili al RUR di partenza e, pertanto, inviabili ai medesimi destini di tale rifiuto, ossia prioritariamente l'incenerimento. La Figura 1.11 riporta gli schemi concettuali di due Trattamenti Meccanici Biologici (TMB) rispettivamente per la produzione di CSS4 e CSS3, con la simultanea produzione di scarti con caratteristiche energetiche analoghe al RUR di partenza. Sono riportati anche i corrispondenti bilanci di massa e di energia.

Oltre all'incenerimento in impianti dedicati e al ricorso alla discarica, alla gestione dei rifiuti urbani contribuiscono anche l'utilizzo di CSS (tipicamente CSS3) in sostituzione di combustibili fossili prevalentemente in cementifici (circa 0,22 Mt nel 2018). Considerando anche la presenza di questi "fabbisogni" di combustibile alternativo, lo schema in Figura 1.12 definisce un sistema di gestione dei rifiuti urbani applicabile a un generico ambito, nel quale tutto quanto non può essere riciclato, prima di essere smaltito in discarica, come spesso avviene tutt'oggi, è invece recuperato energeticamente mediante incenerimento.

Figura 1.11 - Schemi concettuali di due Trattamenti Meccanici Biologici (TMB) per la produzione rispettivamente di CSS4 e CSS3, corredati dei relativi bilanci di massa e di energia

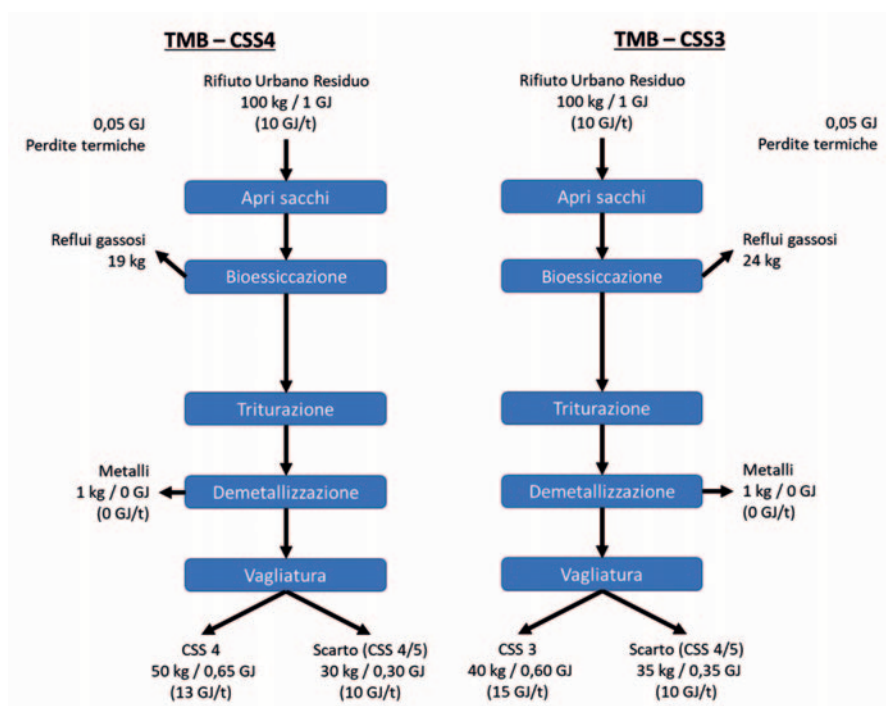
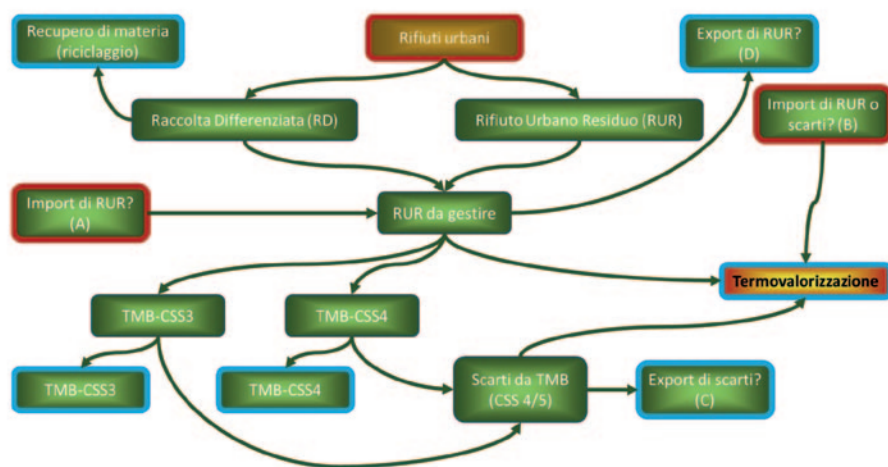


Figura 1.12 - Schema concettuale di un sistema “ideale” per la gestione dei rifiuti urbani in un generico ambito.



Per semplicità nei casi di deficit o surplus di rifiuti all'interno dell'ambito considerato, è stata prevista la possibilità di importare / esportare dall'ambito direttamente RUR, anche se ciò confligge con la normativa vigente che prevede di pretrattare tale rifiuto prima di inviarlo ad ambiti di gestione differenti da quello d'origine. Di fatto, l'import / export di RUR è utilizzato al solo fine di quantificare lo sbilanciamento del sistema di gestione dell'ambito considerato.

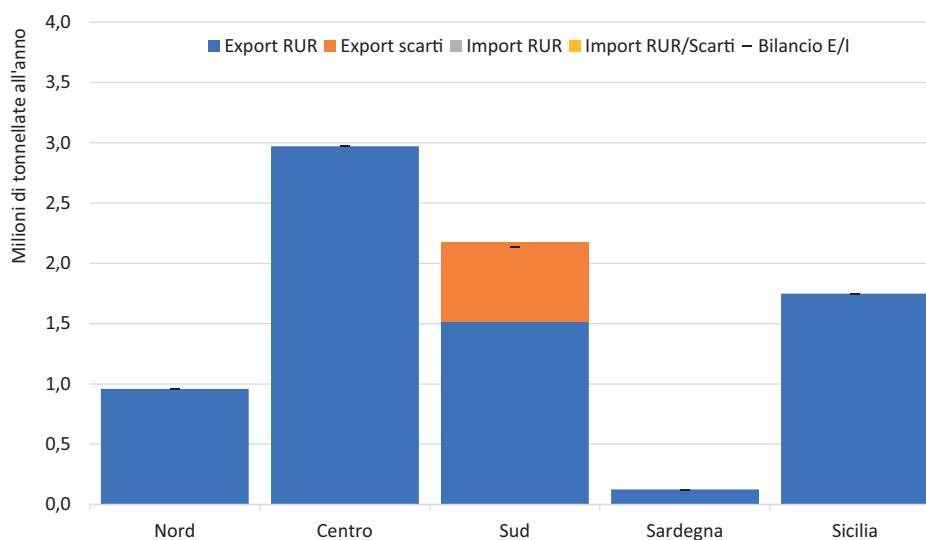
Lo schema adottato destina prioritariamente il RUR raccolto e gli scarti prodotti dalla RD alla produzione del CSS richiesto dal sistema produttivo e dall'impiantistica d'ambito. Nel caso questo approccio ingeneri carenza di RUR, si attiva l'importazione di RUR mediante il flusso A. La produzione di CSS genera scarti con caratteristiche energetiche simili al RUR che sono, pertanto, inviati a incenerimento nel caso la dotazione impiantistica lo consenta, oppure sono esportati dall'ambito con il flusso C. La disponibilità di RUR che eccede il “fabbisogno” per la produzione di CSS è destinata a incenerimento diretto, qualora la capacità impiantistica lo consenta, altrimenti è esportata dall'ambito con il flusso D. Infine, se la capacità impiantistica è superiore alla disponibilità di RUR e scarti dell'ambito considerato, è prevista la possibilità di importare ulteriore RUR con il flusso B.

L'ambito è alimentato dalla produzione dei rifiuti urbani, ma può alimentarsi mediante altri due input opzionali: l'importazione di RUR per TMB (flusso A) e l'importazione di RUR o scarti per l'incenerimento (flusso B). I destini finali dei rifiuti possono essere: il recupero di materia (riciclaggio), la produzione di CSS (di categoria energetica 4 o 3), l'incenerimento, oppure l'esportazione di scarti da TMB (flusso C) oppure di RUR (flusso D).

La semplificazione relativa all'import/export di RUR può essere facilmente tradotta in una situazione conforme alla vigente normativa nella quale il RUR prima di lasciare l'ambito di origine sia sottoposto a TMB per la produzione di CSS4. L'entità dei flussi di import/export si ridurrebbero del 10-20% in termini di massa, pur mantenendo all'incirca il medesimo contenuto di energia e richiedendo, pertanto, la medesima capacità di trattamento.

Lo schema di Figura 1.12 è stato applicato alle tre macroaree della penisola, Nord, Centro, Sud, e alle due isole maggiori, generando i risultati rappresentati nel grafico di Figura 1.13.

Figura 1.13 - Bilanci di massa dei cinque ambiti considerati secondo lo schema di Figura 1.12, in termini di flussi di import/export per mantenere l'equilibrio senza ricorrere alla discarica

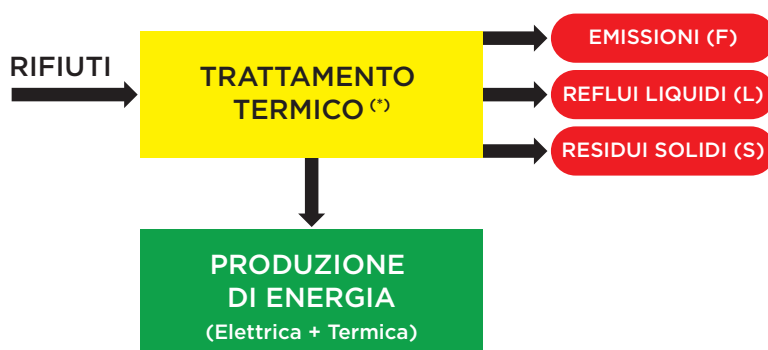


Tralasciando, per il momento, l'incenerimento di RSNP di origine non urbana e focalizzando l'attenzione solo sui rifiuti di origine urbana, la situazione al 2018 sia a livello di macroaree, sia su base nazionale evidenzia ampia sotto-capacità di incenerimento. Per il 2018, lo sbilancio complessivo del sistema Italia indica un fabbisogno di quasi 8 Mt di discarica. Pretrattando il rifiuto prima dello smaltimento in discarica, come prescritto dalla vigente normativa, tale quantitativo si ridurrebbe a circa 6,4 Mt, effettivamente in linea con il dato registrato nel 2018 di 6,9 Mt (la marginale discrepanza è prevalentemente ascrivibile all'utilizzo, nel 2018, di parte della capacità di incenerimento per RSNP di origine non urbana).

2. L'INCENERITORE

I trattamenti termici sono processi chimici ad alta temperatura, nei quali le sostanze organiche vengono demolite per originarne altre aventi composizione chimica più semplice (Lindberg et al., 2015; Lombardi et al., 2015). L'obiettivo primario di un qualsiasi trattamento termico è la trasformazione del rifiuto, con produzione di sostanze meno impattanti per l'ambiente e per l'uomo e la conseguente riduzione delle quantità e dei volumi di sostanze da inviare a smaltimento finale, ottenendo nel contempo un recupero del contenuto energetico del materiale.

Figura 2.1 - Schema semplificato relativo ai trattamenti termici (De Stefanis P., 2007)



*Inclusi pretrattamento del rifiuto, combustione, trattamento (F+L+S), ecc.

Nel settore dei rifiuti, i trattamenti termici che trovano applicazione sono i seguenti:

- l'incenerimento;
- la gassificazione;
- la pirolisi;
- la gassificazione al plasma.

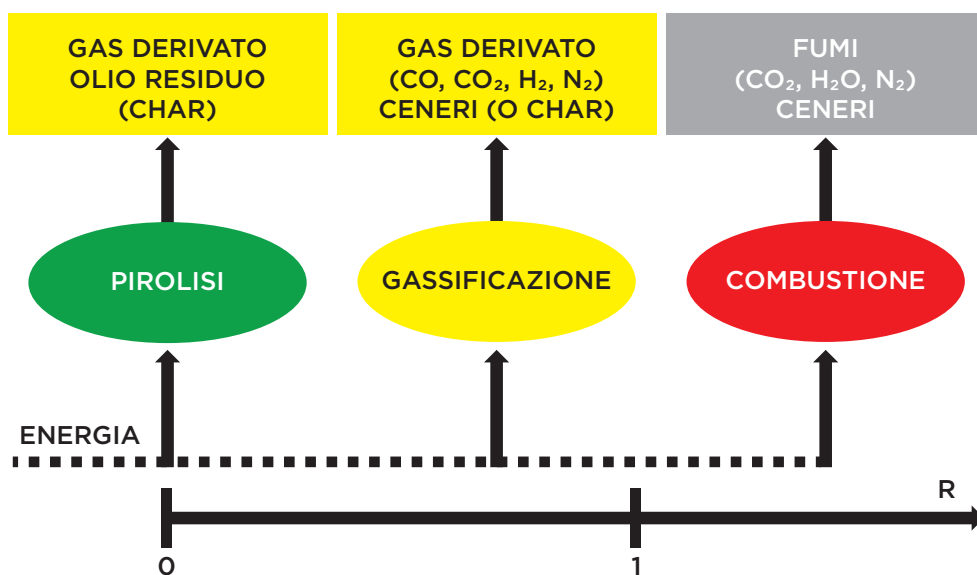
Fra queste, l'incenerimento è l'operazione che è stata finora maggiormente applicata ai rifiuti solidi, con una esperienza su scala industriale oramai molto vasta; gli altri trattamenti sono stati sviluppati come tecnologie alternative all'incenerimento, che tuttavia ad oggi non hanno ancora dato luogo a significative esperienze alla scala industriale.

Il processo di incenerimento si basa sulla combustione diretta dei rifiuti con l'utilizzo del calore sensibile dei fumi per produrre vapore e da questo ottenere energia elettrica e/o termica.

Le tecnologie alternative comportano invece essenzialmente la produzione di un

gas (oppure di un gas e di una frazione liquida) combustibile, che può venire a sua volta bruciato in loco per produrre energia oppure essere utilizzato come materia prima per la produzione di combustibili potenzialmente commerciabili (idrogeno, idrocarburi leggeri) e/o materie prime ("chemicals") per l'industria chimica. Se definiamo R il rapporto tra la quantità effettiva di agente ossidante (aria e/o ossigeno) e quella teorica (stechiometrica), i principali processi termici possono essere rappresentati schematicamente come riportato nella Figura 2.2.

Figura 2.2 - Rappresentazione schematica dei processi di trattamento termico (ENEA, 2008)

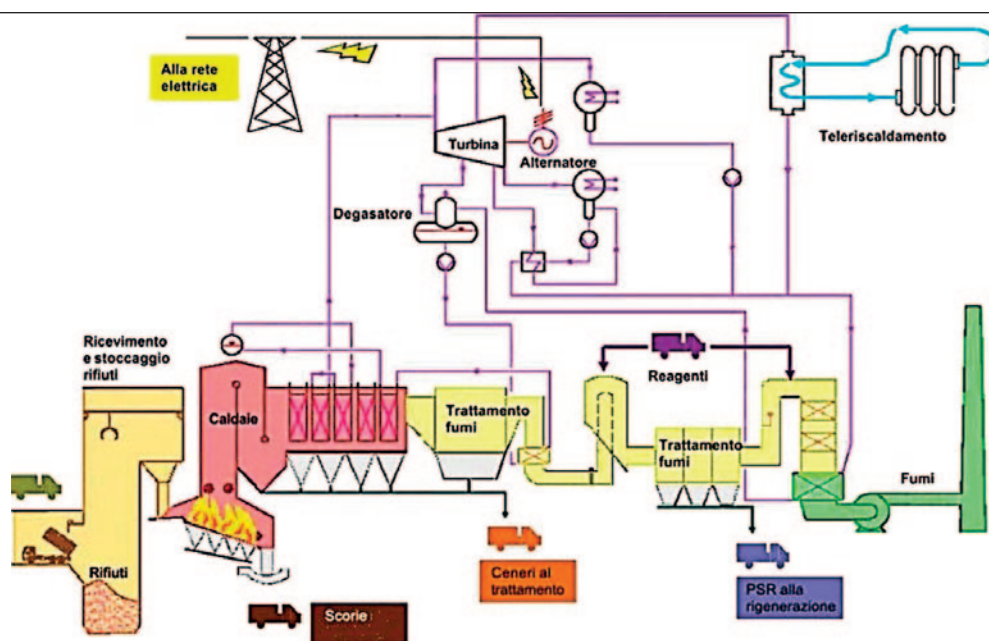


L'incenerimento dei rifiuti urbani è un processo di ossidazione termica del rifiuto, nel quale gli elementi fondamentali costituenti le sostanze organiche contenute vengono ossidati, dando origine a molecole semplici e sostanzialmente allo stato gassoso in condizioni ambiente (fumi); il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica (CO_2), l'idrogeno ad acqua (H_2O), lo zolfo a biossido di zolfo (SO_2), ecc.; la parte inorganica del rifiuto viene eventualmente ossidata anch'essa ed esce dal processo come residuo solido da smaltire e/o recuperare (ceneri pesanti). Poiché il processo è di tipo ossidativo, è necessaria la presenza di ossigeno per le reazioni: normalmente viene utilizzata aria, fornita in eccesso rispetto alla quantità stechiometrica per facilitare le reazioni chimiche.

2.1 Il funzionamento degli impianti di incenerimento

Le principali sezioni costituenti un impianto di incenerimento sono le seguenti (Figura 2.3): camera di combustione, sezione di depurazione fumi, sezione di recupero energetico.

Figura 2.3 - Schema impianto di incenerimento (TRM, 2019)



2.1.1 Camera di combustione

Le tecnologie di combustione maggiormente diffuse per il trattamento dei rifiuti urbani sono il forno a griglia ed il forno a letto fluido.

I forni a griglia costituiscono la tecnologia di più largo impiego, grazie alla flessibilità di funzionamento e all'affidabilità derivante dalle numerose applicazioni. Consistono in una griglia, orizzontale o inclinata, su cui viene disposto un letto di rifiuti dello spessore di alcune decine di centimetri. La griglia è costituita da un insieme di elementi, detti "barrotti", disposti in modo da consentire il passaggio dell'aria comburente e la sua ripartizione su tutto il letto di rifiuti.

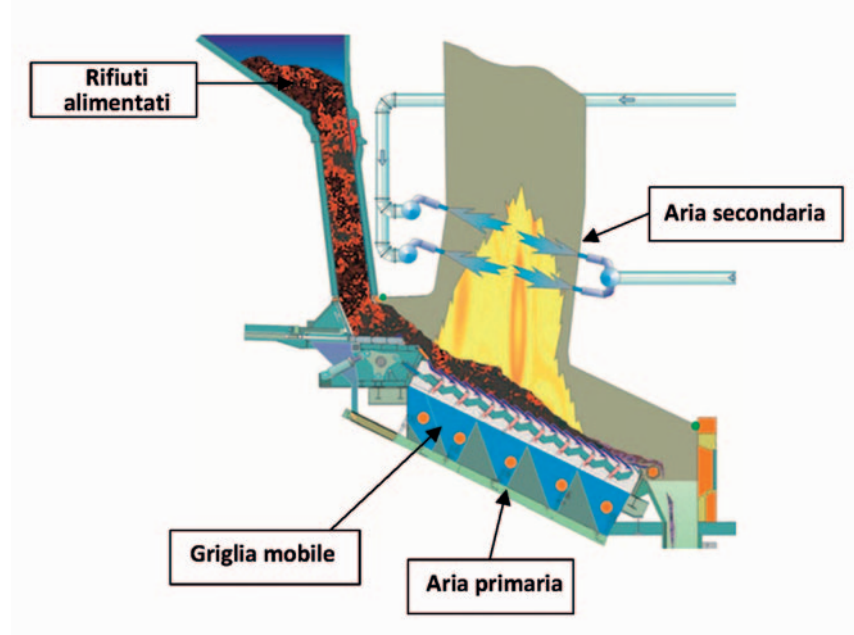
L'aria di combustione viene iniettata sia sotto la griglia, sia nella parte alta della camera di combustione, ovvero all'interno dei fumi; quest'ultima viene utilizzata anche per il controllo della temperatura.

Il tempo di permanenza del rifiuto sulla griglia deve essere tale da garantire il completamento delle diverse fasi del processo di combustione ed è in genere compreso tra 30 e 60 minuti. Le ceneri pesanti residue del processo vengono scaricate dalla parte finale della griglia con opportuni sistemi in vasche di accumulo a bagno d'acqua, che provvedono anche al loro raffreddamento.

Livelli di temperatura dell'ordine dei 950 - 1000 °C sono ritenuti sufficienti, in corri-

spondenza di adeguati tenori di ossigeno (6 – 8 %) e turbolenza, a garantire il completamento pressoché totale dell'ossidazione dei componenti organici nei processi di combustione, minimizzando in tal modo le emissioni di prodotti incombusti. In Figura 2.4 è riportato lo schema di funzionamento del forno a griglia mobile.

Figura 2.4 - Schema di funzionamento del forno a griglia mobile (Bourtsalas, 2020)



Il forno a letto fluido è costituito da una camera di combustione all'interno della quale viene mantenuto un certo quantitativo di materiale inerte (il "letto"), di solito costituito da sabbia, in sospensione ("fluido") da una corrente ascendente di aria (che funge anche da comburente). Il movimento del letto di sabbia garantisce un buon contatto comburente - combustibile, oltre a una notevole uniformità di temperatura e di miscelazione, che contribuiscono a garantire una combustione costante e completa. Questa apparecchiatura, messa a punto inizialmente nell'industria petrolchimica, è stata adattata successivamente alla combustione di sostanze piuttosto omogenee e di pezzatura ridotta. I rifiuti urbani debbono dunque subire un pretrattamento costituito, come minimo, da operazioni di vagliatura e triturazione.

2.1.2 Sezione di depurazione fumi

Un impianto di incenerimento dà origine a emissioni di tipo gassoso, liquido e solido (Figura 2.1).

Prima del loro rilascio in atmosfera i fumi sono sottoposti ad un trattamento con l'obiettivo di ridurre in modo sostanziale le concentrazioni delle sostanze inquinanti. La sezione di trattamento fumi risulta molto articolata e complessa, in conseguenza dei limiti sempre più rigorosi imposti dalla normativa e di un concreto progresso tecnologico, che ha condotto negli ultimi anni allo sviluppo di sistemi sofisticati, in grado di

consentire il raggiungimento di valori di emissione al limite della soglia di misurabilità. I contaminanti presenti nei fumi sono raggruppabili in:

- macroinquinanti: sostanze presenti nei fumi in concentrazioni dell'ordine dei mg/Nm^3 , quali le polveri, gli ossidi di zolfo (principalmente anidride solforosa, SO_2) e di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO) e gli acidi alogenidrici (essenzialmente HCl e HF);
- microinquinanti: sostanze, presenti nelle emissioni in concentrazioni di molto inferiori, che includono sia specie inorganiche, come i metalli pesanti (Cd , Cr , Hg , Pb , Ni , ecc.), che organiche come diossine, furani e idrocarburi policiclici aromatici (PCDD, PCDF, IPA).

I valori limite per le emissioni dei microinquinanti si collocano nell'ordine dei $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ricordando che $1 \mu\text{g} = 0,001 \text{ mg}$), o addirittura dei ng/Nm^3 (ricordando che 1 ng equivale a un milionesimo di mg) per le diossine e componenti analoghe, di particolare pericolosità per la salute dell'uomo.

Per quanto riguarda la riduzione di tali emissioni, secondo la normativa vigente ci si deve basare sulle BAT (Best Available Techniques, cioè le migliori tecniche attualmente disponibili e sfruttabili industrialmente), definite in un documento ufficiale dell'IPPC Bureau per gli impianti di incenerimento (European Commission, 2019).

Sintetizzando quanto riportato nel documento della Commissione Europea [European Commission, 2019] per gli impianti di incenerimento si ha quanto segue:

- i dispositivi di abbattimento del particolato (ceneri volanti) più impiegati sono i filtri a maniche e i filtri elettrostatici (o elettrofiltri);
- l'abbattimento dei gas a comportamento acido, in particolare cloruro di idrogeno (HCl), anidride solforosa (SO_2), e fluoruro di idrogeno (HF) può essere ottenuto con modalità diverse (metodo del lavaggio a umido, a secco o a semisecco);
- le emissioni di ossidi di azoto vengono controllate mediante due diversi sistemi: il primo comprende accorgimenti che ne riducono la formazione durante il processo, in modo che la concentrazione risulti inferiore al limite di legge; il secondo prevede la rimozione degli NO_x mediante una reazione chimica con ammoniaca gassosa (NH_3), che li trasforma in azoto elementare. La rimozione può essere effettuata con due modalità diverse: a bassa temperatura ($300 - 400^\circ\text{C}$) in presenza di catalizzatori (SCR, Selective Catalytic Reduction) oppure ad elevata temperatura ($950 - 1000^\circ\text{C}$) in assenza di catalizzatori (SNCR, Selective Non Catalytic Reduction);
- per ciò che riguarda i microinquinanti (metalli pesanti e diossine) viene comunemente praticata l'iniezione di carbone attivo. Si segnala inoltre che i microinquinanti organici (diossine e furani in particolare) possono essere abbattuti anche all'interno dei sistemi SCR utilizzati per l'abbattimento degli ossidi d'azoto.

2.1.3 Sezione di recupero energetico

Il recupero di energia dall'incenerimento viene comunemente ottenuto attraverso il raffreddamento dei fumi che si rende necessario per il loro successivo trattamento. Il recupero avviene sotto forma di produzione di energia elettrica e/o termica, ottenuta attraverso l'impiego del vapore generato in un'apposita caldaia, concettualmente costituita da uno scambiatore di calore.

Lo schema impiantistico è del tutto simile a quello tipico delle centrali termoelettriche, anche se le condizioni operative (pressione, temperatura) sono assai meno severe, a causa della presenza nei fumi di composti corrosivi e di ceneri trascinata che possono dare luogo a fenomeni di corrosione e erosione, nonché alla formazione di depositi di materiale sulle pareti di scambio termico.

Il vapore prodotto dalla combustione del rifiuto può essere utilizzato secondo una delle modalità seguenti:

- fornitura diretta di vapore ad utenze termiche industriali o di acqua calda/surriscaldato ad utenze civili, mediante scambiatore di calore (solo calore);
- produzione di energia elettrica mediante espansione del vapore in turbina con ciclo a condensazione (solo elettricità);
- produzione combinata di energia elettrica e termica (cogenerazione).

Il rendimento di produzione di energia (ovvero il rapporto tra la quantità di energia utile prodotta e la quantità di energia contenuta nel rifiuto, ovvero il suo potere calorifico) è molto variabile nei diversi assetti di funzionamento. In particolare, nel caso di assetto "solo elettrico" il rendimento energetico lordo può raggiungere un valore prossimo o di poco superiore al 30% (ATO-R/Politecnico di Torino 2009; ATO-R/Politecnico di Torino. 2010).

Nel caso di assetto cogenerativo il rendimento energetico lordo può raggiungere o superare il 70% (circa 20% elettrico e 50% termico) (ATO-R/Politecnico di Torino 2009; ATO-R/Politecnico di Torino. 2010).

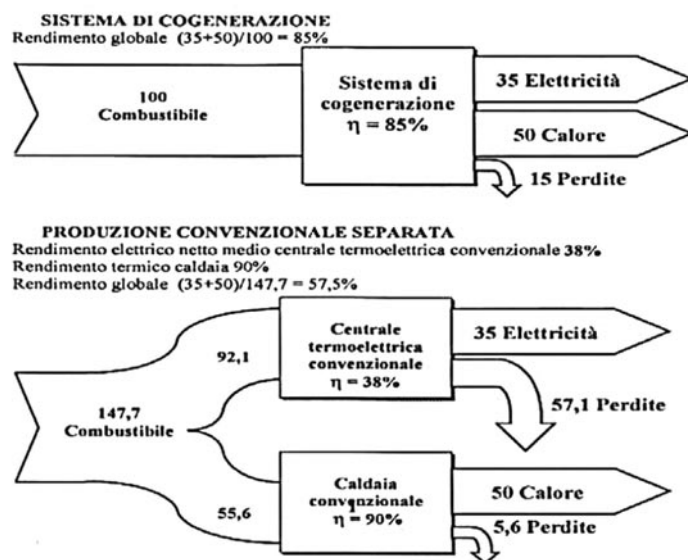
Gli sviluppi tecnologici più recenti consentono di incrementare ulteriormente questi livelli di efficienza, attraverso il ricorso a:

- condensazione dei fumi, per recuperare anche il calore latente di condensazione dell'umidità in essi contenuta (si tratta in sostanza dello stesso principio di funzionamento delle caldaie a condensazione per uso domestico);
- sistemi di trigenerazione, ovvero generazione di elettricità, calore e freddo, mediante l'integrazione di sistemi a pompa di calore. Un funzionamento di questo tipo è già attivo presso l'inceneritore Spittelau di Vienna.

Lo schema di Figura 2.5 illustra, a titolo indicativo, le differenze prospettabili dall'utilizzo di un impianto cogenerativo rispetto alla produzione separata delle medesime quantità di energia.

È possibile notare come, per ottenere la stessa quantità di energia utile finale (35 unità di energia elettrica e 50 di calore), sia necessaria una quantità di energia primaria pari a 147,7 nel caso di produzione separata. (Gabbar et al., 2018).

Figura 2.5 - Confronto tra produzione combinata e produzione separata delle stesse quantità di energia elettrica e calore



2.2 Frazioni residue

Dal processo di trattamento termico dei rifiuti hanno origine due tipologie di residui solidi:

- le ceneri pesanti, le cui caratteristiche e quantitativi sono strettamente correlate al processo di trattamento e alla tipologia del rifiuto in ingresso. Gli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani presenti in Europa producono tipicamente 150 - 250 kg di ceneri pesanti per tonnellata di rifiuto trattato;
- le ceneri volanti rimosse attraverso il sistema di trattamento dei fumi, di norma smaltite in discariche per rifiuti pericolosi.

Vi sono poi i sali dai trattamenti di depurazione dei fumi, le cui caratteristiche dipendono dal tipo di reagente utilizzato (ad esempio i PSR - Prodotti Sodici Residui, nel caso di utilizzo di bicarbonato di sodio). Si tratta generalmente di rifiuti pericolosi che possono essere smaltiti in discariche apposite o anche avviati a processi di recupero. La possibilità di riutilizzo o di riciclaggio dei residui solidi è determinata fondamentalmente dalle loro caratteristiche in termini di contenuto di sostanze organiche e di lisciviabilità di metalli e sali.

2.3 Bilancio di massa di un inceneritore

Al fine di definire il bilancio di massa di un inceneritore si riporta nel seguito l'esempio dell'impianto ubicato a Torino.

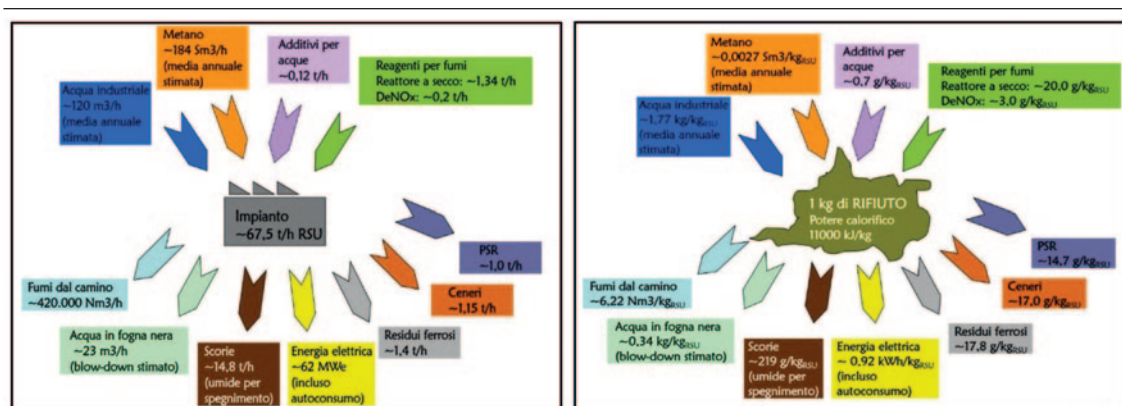
L'impianto di incenerimento di Torino, entrato in funzione nel 2014, fu originariamente autorizzato a trattare 421.000 t/a di rifiuti urbani residui da raccolta differen-

ziata (RUR) e rifiuti speciali assimilabili agli urbani (RSA), aventi un potere calorifico medio di 11 MJ/kg.

La combustione dei rifiuti avviene a ~ 1.000/1.200 °C su 3 griglie mobili a spinta inversa. Ogni griglia, con superficie di 76,5 m², è costituita da 4 sezioni parallele, suddivise in 5 zone trasversali.

In Figura 2.6 sono riportati i bilanci di massa riferiti all'intero impianto (circa 67,5 t/h di rifiuto in ingresso) e ad un kg di rifiuto trattato (TRM, 2019). In figura 2.6 sono ben esplicitati gli input (acqua, metano, additivi, reagenti per trattamento fumi) e gli output (fumi, acqua, energie elettrica, residui solidi) del sistema.

Figura 2.6 - Bilancio di massa orario e bilancio per 1 kg di rifiuto trattato dall'impianto di incenerimento di Torino



2.4 Indice tecnico/normativo R1

La vigente normativa classifica l'incenerimento dei rifiuti urbani come un'operazione di recupero (in particolare l'operazione "R1", cioè il "recupero di energia") quando è effettuata conseguendo un definito livello di efficienza energetica su base media annua. Sono definiti, quindi, un'opportuna "efficienza energetica" detta, appunto "efficienza energetica R1", e i valori di soglia da raggiungere o superare per qualificare l'operazione svolta quale "recupero di energia" anziché come "smaltimento" (si veda Figura 2.7). Tali valori soglia sono differenziati per gli impianti costruiti prima di una certa data e quelli più recenti.

L'efficienza energetica R1 non è una grandezza fisica, bensì un indice normativo che ha lo scopo di quantificare in quale proporzione l'operazione di incenerimento dei rifiuti urbani contribuisce al sostentamento del sistema energetico rispetto al proprio potenziale. Tale quantificazione è effettuata nell'ottica del risparmio di fonti energetiche primarie conseguente al recupero energetico dei rifiuti.

È bene ribadire che il mancato raggiungimento dei valori soglia previsti non significa che l'impianto non recupera energia, bensì che lo fa a un livello di efficienza non ritenuto sufficientemente elevato. Il recupero di energia è infatti obbligatorio per legge, ai sensi delle normative comunitarie e nazionali.

Inoltre, il significato fisico della formula R1 è quello di un confronto tra l'efficienza dell'impianto di incenerimento analizzato e quella di una centrale termoelettrica convenzionale media europea. Questo spiega l'origine dei coefficienti 2,6 e 1,1 utilizzati nella formula, che sono matematicamente relazionati alle efficienze medie di tali impianti. In particolare, nel caso in cui l'applicazione della formula restituisca un risultato pari a 1, l'impianto presenta un'efficienza di recupero energetico pari a quella media delle centrali termoelettriche convenzionali. Il che significa che il risultato può anche essere superiore a 1, come avviene di frequente per impianti localizzati nel Nord Europa.

Figura 2.7 - Definizione dell'“efficienza energetica R1” (Nota all'Allegato C della Parte IV del TUAed EC the interpretation of the R1 formula, giugno 2011).

L'efficienza energetica R1

L'operazione di incenerimento di rifiuti urbani è considerata «recupero di energia» (R1) qualora l'efficienza energetica R1 conseguito dall'impianto di incenerimento su base annua raggiunga o superi il valore di 0,60 per gli impianti costruiti prima dell'1/01/2009 oppure il valore di 0,65 per gli impianti costruiti dopo il 31/12/2008.

$$R1 = \frac{E_P - (E_F + E_I)}{0,97 \times (E_W - E_F)} \times CCF$$

E_P produzione annua di energia sotto forma di elettricità e/o calore;

E_F energia annualmente fornita all'impianto da combustibili diversi dai rifiuti, che hanno contribuito alla produzione energetica utile;

E_W energia annualmente fornita all'impianto dai rifiuti trattati;

E_I importazione annuale di energia diversa da quella conteggiata in E_W ed E_F ;

0,97 coefficiente di correzione che considera le perdite per scarico scorie e irraggiamento;

CCF «*Climate Correction Factor*», fattore di correzione climatica (attualmente nell'intervallo 1,00 - 1,25; in futuro tra 1,00 e 1,12 a seconda del clima locale).

Tutte le forme di energia devono essere convertite in termini di energia primaria equivalente mediante i fattori di conversione di 1,0 per l'energia contenuta nei combustibili (espressa come potere calorifico inferiore), 2,6 per l'elettricità e 1,1 per il calore (energia termica).



Termovalorizzatore - BRESCIA

3. IMPATTO DELL'INCENERIMENTO SULL'AMBIENTE

3.1 Generalità

L'inquadramento dell'impatto delle emissioni atmosferiche dall'incenerimento sulla qualità dell'aria si basa su due criteri. Il primo è di tipo prettamente tecnologico, ovvero basato sulle prestazioni attese dei sistemi di depurazione fumi disponibili e/o sul confronto con le emissioni di tutte le altre sorgenti attive nell'area di interesse. Il secondo considera il contributo aggiuntivo delle emissioni dell'impianto alle concentrazioni atmosferiche degli inquinanti nell'area di insediamento, ricavabile con strumenti di simulazione modellistica. Entrambi i criteri vengono usualmente integrati per poter complementare adeguatamente la valutazione in termini delle interazioni causa-effetto prospettabili per l'impianto.

3.2 Le concentrazioni di inquinanti al camino

Gli inquinanti presenti nei fumi prodotti dagli inceneritori comprendono sia composti associati a qualsiasi altro processo di combustione sia sostanze specifiche, tipiche della combustione del rifiuto. I primi comprendono il materiale particolato (ovvero le polveri di diverse dimensioni, trascinate dal flusso gassoso), alcuni gas acidi (SO_2 e NO_x) e composti indicatori della qualità della combustione (CO e COT - carbonio organico totale). Le seconde includono altri gas acidi (HCl e HF), nonché un insieme di specie tossiche presenti a livello di tracce e costituite da alcuni metalli pesanti (cadmio e mercurio in primo luogo) e da molecole organiche aromatiche, clorate (PCDD/F -diossine e furani-, PCB -bifenili policlorurati-) e non (IPA - idrocarburi policiclici aromatici). Questi ultimi sono quelli che normalmente focalizzano l'interesse dei processi autorizzativi e del dibattito sull'accettabilità degli impianti.

La normativa nazionale di settore, che deriva dall'implementazione delle corrispondenti direttive europee, si basa su due dispositivi. Il primo, di carattere legislativo tradizionale, è costituito dall'imposizione di limiti di emissione al camino che non possono essere superati, mentre il secondo, di impronta più tecnologica, è rappresentato dalle indicazioni contenute nei già citati documenti di riferimento associati alle migliori tecniche disponibili nel settore (BREF - BAT Reference Document), pubblicati dalla Commissione Europea nell'ambito dell'assetto normativo IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control - Prevenzione e riduzione integrati dell'inquinamento) avviato nel 1996 (Direttiva 96/61/CE). Il BREF descrive le prestazioni emissive ottenibili mediante il ricorso alle migliori tecniche disponibili (BAT) senza che i suoi contenuti, ed i valori limite riportati, siano formalmente da adottarsi come prescrizioni normative. Ciò nonostante, essi rappresentano un importante riferimento per gli Enti responsabili delle procedure autorizzative che, utilizzandoli quali elementi legislativi "secondari" di supporto, sono in grado di sfruttarne appieno le loro possibilità di limitare ulteriormente le emissioni dall'impianto ed i conseguenti

effetti ambientali in contesti più o meno critici. Il valore intrinseco dei BREF, documenti di dominio pubblico, è dunque molto significativo in termini applicativi per il loro contenuto informativo, periodicamente aggiornato con estese indagini su diverse tipologie di impianti e di sistemi di depurazione a piena scala, che permette di fotografare le capacità tecnologiche e di sistema nel controllo delle emissioni. La filosofia è quella del “miglioramento continuo” delle tecnologie e della conseguente necessità di adattamento da parte di tutti gli impianti, in un’ottica di continua diminuzione degli impatti sull’ambiente.

La sintesi delle prestazioni attese dagli attuali sistemi di depurazione introdotta dall’ultima revisione delle BREF è riportata in Tabella 3.1 ove, a titolo di confronto, sono anche indicati i limiti all’emissione contenuti nella normativa europea di settore. L’attuale quadro impiantistico all’origine delle BREF fa emergere una situazione del tutto compatibile con i limiti imposti, con margini di rispetto del tutto tranquillizzanti per alcuni degli inquinanti di maggior interesse, “in primis” diossine e metalli tossici (Figura 3.1). Il tutto, va ricordato, a fronte di un insieme di prescrizioni che, a tutt’oggi, sono tra quelle più restrittive rispetto a tutti gli altri settori emissivi, sia di combustione fissa sia da attività industriali.

Il contesto nazionale appare congruente con quello delineato in ambito Europeo, come mostra la rassegna delle misure più recenti disponibili a vario titolo per alcuni degli impianti più significativi in esercizio in Italia e riportata in Figura 3.1, in termini dei valori annuali registrati dai sistemi in continuo o ricavati da monitoraggi periodici e trasmessi alle autorità di controllo. I valori emissivi rilevati derivano essenzialmente dalla diffusa adozione di autorizzazioni all’esercizio (Autorizzazione Integrata Ambientale – AIA) con limiti direttamente derivati dalle BAT e, quindi, più restrittivi rispetto a quelli della normativa di settore. Tale situazione è da ricondursi a un quadro tecnologico delle linee di depurazione dei fumi che, sia negli impianti di ultima generazione sia in quelli progressivamente potenziati, appaiono in sintesi così caratterizzate:

- ricorso pressoché esclusivo al filtro a maniche come unità di depolverazione principale: le elevatissime prestazioni conseguibili sulla rimozione del materiale particolato, anche per le frazioni più fini, consentono di ottenere un effetto a cascata sul controllo di tutti gli inquinanti in traccia veicolati dalle polveri (diossine, metalli non eccessivamente volatili). Il processo di filtrazione su tessuto costituisce inoltre un ottimo complemento al sistema di assorbimento a secco o a semisecco, grazie all’elevato tempo di permanenza del materiale solido sulle maniche filtranti. L’adozione di una doppia depolverazione, con uno stadio preliminare affidato anche a filtri elettrostatici e finalizzato a mantenere separati flussi di polveri residue con caratteristiche diverse, contribuisce a potenziare ulteriormente le prestazioni. Le concentrazioni di polveri nei gas emessi al camino si approssimano ormai all’ordine di grandezza di quelle misurate in aria ambiente in contesti urbani;
- utilizzo prevalente di sistemi catalitici SCR per la riduzione degli ossidi di azoto, in grado di garantire emissioni prossime ai limiti inferiori dell’intervallo delle BAT e di operare conversioni supplementari di composti organici tossici (diossine e furani), molto efficaci quali presidio finale prima dell’immissione in atmosfera;
- larga diffusione di sistemi a secco per la depurazione di gas acidi (HCl, HF, SO₂), integrati con l’aggiunta di adsorbenti in polvere (tipicamente carboni attivi) de-

dicati alla rimozione di specie volatili tossiche (mercurio, diossine e furani) in configurazioni che, come già accennato, ricorrono spesso alla doppia filtrazione, sia con due filtri a tessuto in serie che con un filtro elettrostatico a monte di uno stadio a tessuto finale.

Tabella 3.1 - Limiti alle emissioni attualmente in vigore (2010/75/EU, Industrial Emissions Directive) e intervalli emissivi associati alle BAT (valori medi giornalieri espressi in mg/m³, salvo ove diversamente indicato).

Inquinante	2010/75/EU, IED	BAT ⁽¹⁾
Polveri	10	<2-5
HCl	10	<2-8
HF	1	<1
SO ₂	50	5-40
NO _x (come NO ₂)	200	50-150 (180 senza SCR)
COT	10	<3-10
CO	50	10-50
Hg	0,05	0,001-0,02
Cd + Tl	0,05	0,005-0,02
Altri metalli	0,5	0,01-0,3
PCDD/F (ng _{TEQ} /m ³)	0,1	<0,01-0,08
NH ₃	-	2-10
IPA (µg/m ³)	10	-

⁽¹⁾ valori riportati nelle “Conclusioni sulle migliori tecniche disponibili per l'incenerimento dei rifiuti” del 3 dicembre 2019

Figura 3.1 - Confronto tra limiti di emissione per impianti europei ed intervalli associati alle BAT di settore

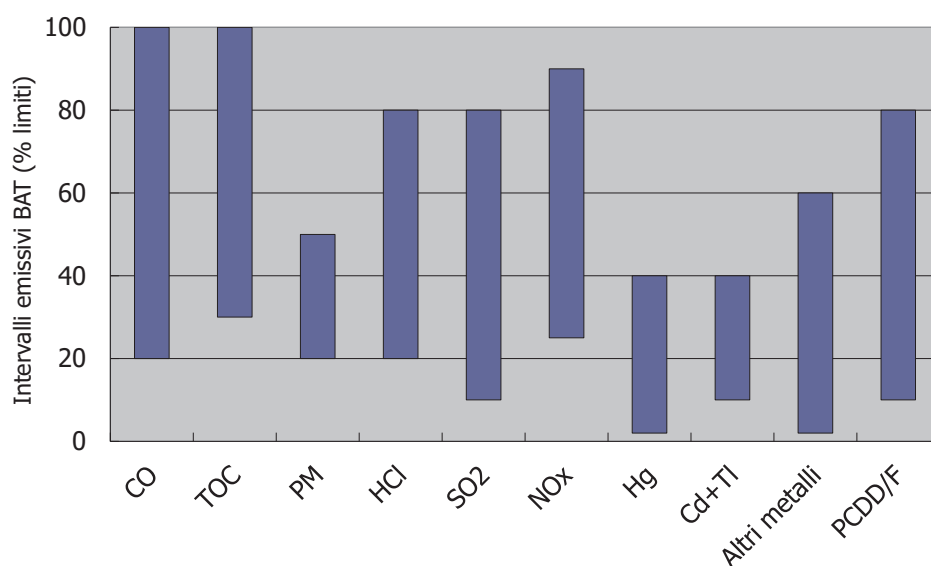
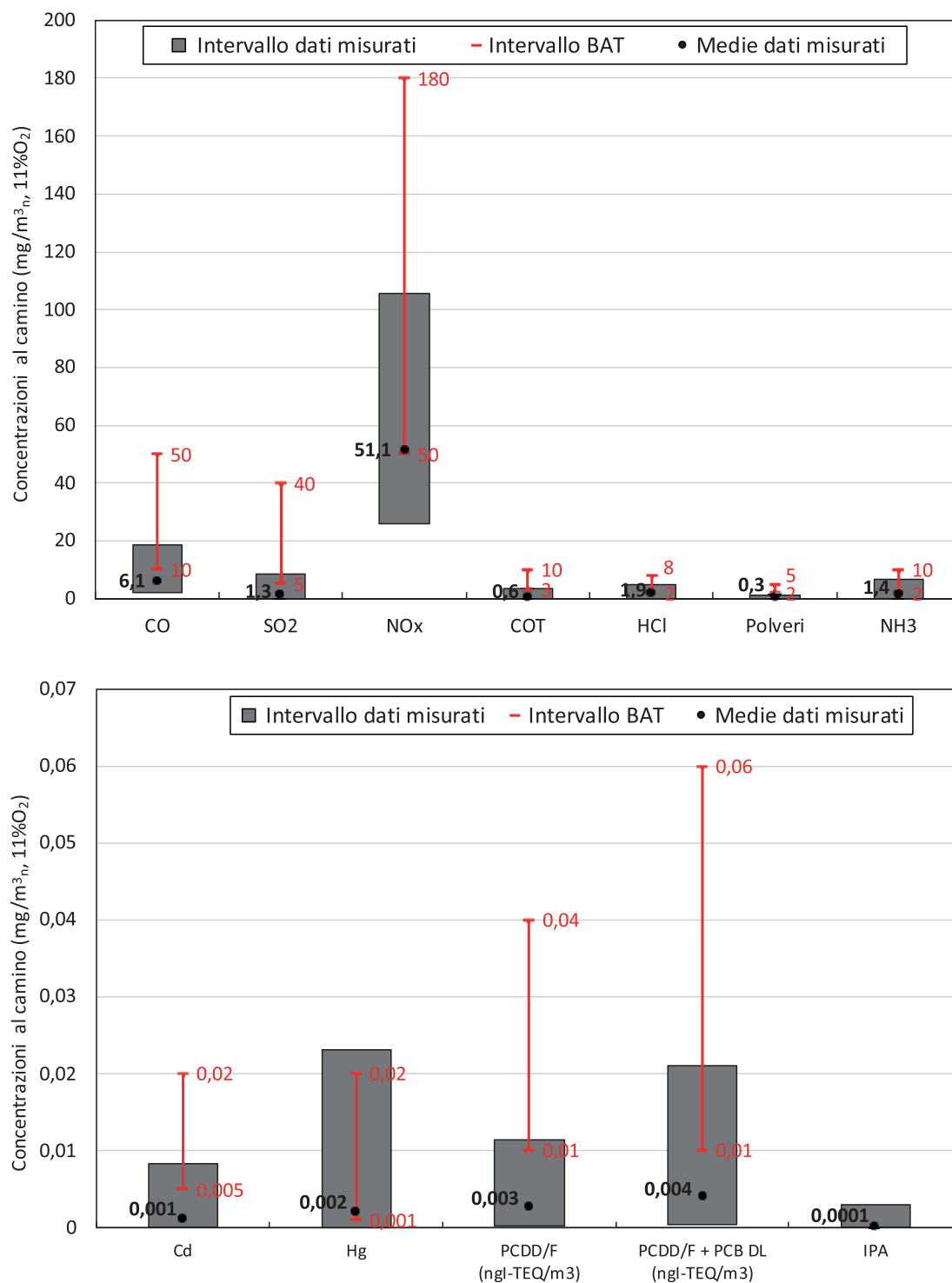


Figura 3.2 - Confronto tra misure all'emissione rilevate nel triennio 2016-2018 da impianti italiani ed intervalli associati alle BAT di settore per inquinanti convenzionali (a) e tossici in traccia (b).



3.3 Il contributo alle emissioni atmosferiche

Gli inventari delle sorgenti emissive di inquinanti atmosferici rappresentano un importante strumento per stimare il contributo degli impianti sulla qualità dell'aria. I dati disponibili in tale contesto sono rappresentati dalle sintesi che, con aggiornamento annuale, la Commissione Europea pubblica sulla base delle informazioni ricevute dai paesi membri, elaborate per i principali inquinanti con un approccio comune raggruppando le diverse sorgenti per tipologia (ad es. produzione di energia, produzione di calore, manifattura di prodotti, traffico veicolare). L'ultima edizione assestata dell'archivio per l'Italia, aggiornata al 2018 e sviluppata da ISPRA (Sinanet-ISPRA, 2020), è riportata in Tabella 3.2, che sintetizza i dati nazionali dei principali inquinanti di interesse riferiti agli anni 2000 e 2018. I valori evidenziano un contributo poco rilevante dell'incenerimento, con incidenze pari a meno dell'1% sia per i macroinquinanti che per i principali inquinanti in traccia e con una visibile tendenza alla riduzione, nonostante l'incremento nella quantità annua di rifiuti avviati al recupero energetico che, nel periodo considerato, è quasi triplicata. Una simile situazione emissiva, che trova ampie analogie in ambito europeo (EEA, 2018), è anche riscontrabile in quelle aree territoriali italiane ove la pratica dell'incenerimento appare più diffusa, tipicamente in alcune regioni settentrionali del paese. Ben illustrativi al proposito risultano, ad esempio, gli archivi delle emissioni regionali disponibili per Lombardia ed Emilia-Romagna, entrambi valutati con la metodologia INEMAR e quindi da ritenersi omogenei tra loro e riportati in Tabella 3.3. Sebbene non del tutto sovrapponibili con la situazione nazionale per completezza di informazioni su alcuni inquinanti e per le ricorrenti differenze che affliggono le modalità di stima dei diversi inventari, le caratteristiche essenziali al riguardo ribadiscono contributi relativi sostanzialmente analoghi, contenuti al di sotto di poche unità percentuali.

Tabella 3.2 - Emissioni annuali da attività di incenerimento di rifiuti urbani in Italia nel 2000 e nel 2018 per gli inquinanti di maggior interesse del settore (elaborazione dati ISPRA, 2020)

	2000			2018		
	Quantità emessa	% sul totale	Rifiuti trattati (t/anno)	Quantità emessa	% sul totale	Rifiuti trattati (t/anno)
SO ₂ (t/anno)	9778	1,3%	2.236.774	110	0,1%	6.329.000
NO _x (t/anno)	2360	0,16%		3798	0,1%	
PM ₁₀ (t/anno)	35,3	0,01%		37	0,03%	
CO (t/anno)	83,4	0,002%		447	0,02%	
Cd (kg/anno)	140	2%		62,3	1%	
Hg (kg/anno)	124,9	1%		202	2,2%	
Pb (kg/anno)	2597	0,3%		6357	2,2%	
PCDD/F (gl-TEQ/anno)	21,4	5,3%		0,6	0,2%	
IPA (kg/anno)	65,5	0,1%		3,3	0,004%	

Tabella 3.3 - Emissioni annuali da attività di incenerimento di rifiuti urbani in Lombardia ed Emilia-Romagna nell'ultimo aggiornamento dell'inventario regionale INEMAR disponibile

	Lombardia (2017, 13 impianti)			Emilia Romagna (2015, 8 impianti)		
	Quantità emessa	% sul totale	Rifiuti trattati (t/anno)	Quantità emessa	% sul totale	Rifiuti trattati (t/anno)
SO ₂ (t/anno)	116,8	1%	2.295.220	11,8	0,10%	1.108.126
NO _x (t/anno)	1171,9	1,05%		461,5	0,6%	
PM ₁₀ (t/anno)	8,3	0,05%		3,9	0,04%	
CO (t/anno)	119,3	0,05%		56,3	0,05%	
Cd (kg/anno)	8,6	0,6%		1,9	0,3%	
Hg (kg/anno)	39,7	2,1%		n.d.		
Pb (kg/anno)	39,8	0,2%		65,8	1%	
IPA (kg/anno)	0,05	0,0006%		n.d.		
Benzo-a-pirene (kg/anno)	0,0096	0,0004%		0,02	0,001%	

Sempre dai dati degli inventari, un ulteriore elemento di interesse è desumibile dal confronto con le emissioni di altre attività che costituiscono spesso importanti fattori di impatto sulla qualità dell'aria. A tale scopo la Tab. 3.4 sintetizza il quadro che emerge dai dati dell'inventario nazionale più recente, relativo al 2018, riguardo al ruolo dei settori che più frequentemente si sovrappongono all'incenerimento, vuoi per contestuale presenza nel territorio vuoi per analoghe finalità di produzione energetica. Senza alcuna pretesa di generalizzazione dell'assetto nazionale a contesti territoriali e produttivi localizzati in aree ristrette, le stime confermano un contributo emissivo dell'incenerimento molto limitato, quando non quasi trascurabile, rispetto a quelli del complesso delle altre sorgenti. Per gli inquinanti convenzionali, l'archivio fa emergere un'importante incidenza delle combustioni residenziali e commerciali, in particolare per polveri (quasi il 60%) e CO (64% circa) che interessa, pur se con affidabilità di stima meno robuste, anche alcune specie in traccia, soprattutto gli IPA. Come già in passato, il trasporto su strada si conferma quale principale contribuente agli NO_x, originati soprattutto dalle motorizzazioni diesel. La situazione dell'incenerimento risulta sostanzialmente analoga per i microinquinanti, sia nel settore dei metalli in traccia sia in quello dei microinquinanti organici, diossine in particolare, le cui principali sorgenti risultano associabili al settore industriale (combustione e processi produttivi) e alle combustioni fisse civili.

Tabella 3.4 - Incidenza delle emissioni annuali dei principali settori di attività in Italia nel 2000 e nel 2018 per gli inquinanti di maggior interesse (elaborazione dati ISPRA, 2020)

2000	Combustione residenziale e commerciale	Produzione e distribuzione energia	Combustione nell'industria	Processi produttivi	Trasporto su strada	incenerimento rifiuti
SO ₂	3,5%	66,4%	14,2%	3,4%	1,6%	1,3%
NO _x	11,7%	11,6%	12,2%	0,4%	50,6%	0,16%
PM ₁₀	35,0%	8,1%	8,6%	7,2%	21,2%	0,01%
CO	22,1%	1,2%	6,7%	2,6%	63,5%	0,002%
Cd	25,0%	0,0%	62,5%	12,5%	0,0%	2%
Hg	7,7%	46,2%	23,1%	23,1%	0,0%	1%
Pb	2,7%	0,5%	16,0%	6,9%	72,5%	0,3%
PCDD/F	41,7%	2,2%	22,0%	29,9%	4,2%	5,3%
IPA	79,6%	4,0%	0,0%	12,6%	3,3%	0,1%

2018	Combustione residenziale e commerciale	Produzione e distribuzione energia	Combustione nell'industria	Processi produttivi	Trasporto su strada	incenerimento rifiuti
SO ₂	9,4%	33,3%	24,0%	12,4%	0,4%	1,2%
NO _x	13,0%	7,0%	9,4%	0,8%	43,5%	0,8%
PM ₁₀	53,8%	1,0%	4,7%	9,3%	11,8%	0,02%
CO	61,9%	1,9%	4,1%	3,6%	19,9%	0,04%
Cd	9,4%	3,3%	38,1%	29,1%	7,7%	1,2%
Hg	7,0%	19,3%	27,4%	43,0%	2,6%	2,6%
Pb	6,8%	1,1%	44,8%	40,6%	5,1%	2,7%
PCDD/F	37,5%	1,7%	20,2%	32,1%	3,8%	0,2%
IPA	78,1%	0,7%	0,8%	13,9%	3,8%	0,007%

Se i risultati che emergono dagli inventari possono risentire della peculiarità dei contesti locali, considerazioni comparative supplementari si possono ottenere dall'analisi dei fattori di emissione. Per la Comunità Europea, la banca dati di riferimento al riguardo è elaborata dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) nell'ambito del programma EMEP (EMEP, 2019). I valori ivi riportati per le sorgenti di combustione di maggior interesse nei confronti dell'incenerimento, integrati con informazioni più di dettaglio reperibili nella letteratura di riferimento per alcuni settori, sono sintetizzati in Tab. 3.5 per i macroinquinanti più significativi e in Tab. 3.6 per i componenti in traccia di rilevanza. Nell'ambito dei macroinquinanti gli inceneritori mostrano livelli emissivi particolarmente contenuti, sia in termini dei dati di riferimento Europei che di quelli ricavati direttamente per il parco impiantistico italiano. Il confronto con le sorgenti di riscaldamento civile a scala medio-piccola fa emergere i potenziali benefici ambientali dell'inserimento dell'incenerimento nelle reti di teleriscaldamento, non solo per la sostituzione delle utenze più impattanti (piccole unità a biomassa)

ma anche per quella di caldaie a combustibile convenzionale e di migliore qualità. Ulteriori informazioni di interesse sono anche ricavabili dai dati del trasporto su strada, presenza pressoché ubiquitaria e contestuale nelle aree di insediamento degli impianti. I fattori di emissione riportati in Tab. 3.5, corrispondenti a quelli del parco circolante medio in Italia in termini della tipologia di ognuna delle classi di veicolo caratteristiche (alimentazione, cilindrata, anzianità normativa) e delle modalità di utilizzo delle stesse (percorrenza di tipo urbano, extraurbana, autostradale), mostrano emissioni specifiche dagli inceneritori che, con l'unica eccezione dell' SO_2 , appaiono di modesto significato rispetto a qualunque tipo di veicolo, con differenze che raggiungono i due ordini di grandezza nel caso delle polveri e del CO e quasi un ordine di grandezza per gli NOx. Il confronto con il traffico, sorgente molto significativa negli stessi ambiti territoriali degli inceneritori, appare più direttamente inquadrabile se lo si traduce in termini della distanza percorsa da un veicolo per emettere le medesime quantità di inquinanti prodotte da un impianto di capacità prestabilita. Utilizzando allo scopo la quantità annua di rifiuti per abitante trattata per incenerimento, corrispondente in Italia a poco meno di 100 kg/anno, ne derivano percorrenze annue comprese tra 3 e 24 km per le polveri (PM_{10}) prodotte da automezzi pesanti e veicoli passeggeri diesel, rispettivamente, e tra 13 e 390 km, sempre per i mezzi pesanti e per le vetture passeggeri a benzina. In sostanza, il confronto conferma per l'inceneritore un ruolo di scarso significato, soprattutto per inquinanti di un certo rilievo come il particolato che mostra, come prevedibile, nelle motorizzazioni diesel e nei mezzi pesanti le categorie di maggior impatto relativo.

L'analoga situazione comparativa per gli inquinanti in traccia appare più difficilmente inquadrabile, in quanto i valori di riferimento per le attività di interesse scontano maggiori incertezze, riconducibili alla disponibilità molto più ridotta di misure rispetto ai macroinquinanti. Ciò premesso, in termini generali l'incenerimento non risulta emettere quantità nettamente prevalenti rispetto alle altre combustioni, con fattori di emissione che, soprattutto per gli impianti più moderni presidiati in linea con le BAT, presentano livelli spesso inferiori a quelli di altre attività, anche per taluni dei componenti in traccia utilizzati come indicatori caratteristici, quali metalli tossici (Cd e Hg, Tab. 3.6) e soprattutto diossine (Tab. 3.7). Sempre a proposito delle diossine, il confronto con le altre sorgenti emissive conferma, come emerge dagli inventari già illustrati, che allo stato attuale l'incenerimento si colloca tra le attività di minor rilevanza rispetto alle corrispondenti immissioni in atmosfera. A settori produttivi già noti al proposito, come le lavorazioni dei metalli e la produzione siderurgica, soprattutto se condotte con materie prime di origine residuale (seconda fusione o processi secondari), si affiancano in misura potenzialmente consistente alcune fonti di combustione poco controllate o controllabili, quali le già citate piccole utenze domestiche. Un ruolo del tutto particolare è associato ai roghi accidentali ed alle combustioni incontrollate di varia natura, i cui pochi dati disponibili ne evidenziano potenzialità emissive estremamente significative, ancorché casuali, quando gli eventi coinvolgono residui e rifiuti di svariate tipologie, plastiche in particolare.

Tabella 3.5 - Fattori di emissione da attività di combustione (massa emessa per unità di massa del combustibile consumato) per inquinanti convenzionali

Attività	NO _x (kg/t)	CO (kg/t)	PM ₁₀ (g/t)	SO ₂ (KG/t)	Riferimento
incenerimento - riferimento europeo	0,8-1,5	0,007-0,25	1,1-8,3	0,02-0,5	EMEP, 2019
incenerimento - media italiana al 2010	0,62	0,07	6,1	0,02	ISPRA, 2019
incenerimento - impianti italiani ultima generazione	0,2-0,9	0,01-0,1	0,25-11,4	0,0001-0,09	Elaborazione da Dich. Amb. 2015/18
Riscaldamento domestico - piccole utenze a biomassa	0,6-2,8	18,5-185	7000-28000	0,15-0,7	EMEP
Riscaldamento domestico - caminetti aperti	n.d.	n.d.	2800-30000	n.d.	Vicente et al., 2018
Riscaldamento domestico - stufe a legna	n.d.	n.d.	400- 2800	n.d.	
Riscaldamento domestico - stufe a pellet	n.d.	n.d.	50-2600	n.d.	
Riscaldamento civile - caldaie medio/piccole a carbone	4,5 - 6	6-90	2300-7200	13,5-30	EMEP
Riscaldamento civile - caldaie medio/piccole a gas naturale	1,6-5,4	0,9-2,2	14-88	0,01-0,1	EMEP
Riscaldamento civile - caldaie medio/piccole a gasolio	2,2-6,6	0,9-3,5	30-3500	3,7-6,2	EMEP
Veicoli passeggeri benzina	2,3-3,1	16,2-58,5	352,7-568,2	0,011	Parco circolante medio in Italia, agg. 2017 (ISPRA, 2019)
Veicoli passeggeri Diesel	10,2-13,4	0,5-2,2	645,8-841,2	0,016	
Furgoni benzina	2,6-4,7	13,7-91,5	276,7-484,3	0,011	
Furgoni diesel	12,3-16,7	2,8-4,7	971,9-975,8	0,016	
Mezzi pesanti	20-24,3	5,6-6,6	863,5-998,7	0,016	
Motocicli	4,2-9,9	140,6-235,5	623,2-3863,2	0,011	
Centrali termoelettriche (parco impiantistico medio italiano 2017)	1,2	0,7	23,1	0,4	ISPRA, 2018

Tabella 3.6 - Fattori di emissione da attività di combustione (massa emessa per unità di massa di combustibile consumato) per inquinanti tossici in traccia

Attività	Cd (mg/t)	Pb (mg/t)	Hg (mg/t)	PCDD/F (µg/t)	Riferimento
incenerimento - riferimento europeo	1,1-19	12-280	7,3-48	0,02-0,2	EMEP
incenerimento - riferimento Italiano al 2010	10	1040	30	0,1	ISPRA, 2019
incenerimento - impianti italiani ultima generazione	1,3-27,7	n.d.	0,05-61	0,002-0,07	Elaborazione da Dich. Amb. 2015/18
Riscaldamento civile - piccole utenze a biomassa	9,2-1606,2	9,3-2185	3,6-17,9	0,4-92,5	EMEP
Riscaldamento civile - caldaie medio-piccole a carbone	30-150	2400-9000	150-270	1,2-15	EMEP
Riscaldamento civile - caldaie medio/piccole a gasolio	3,3-26,4	110-1760	1,1-8,8	0,1-0,9	EMEP
Riscaldamento civile - caldaie medio-piccole a gas naturale	0,005-0,03	0,04-0,16	0,07-35,4	0,02-0,12	EMEP
Veicoli passeggeri benzina	10,3-18,0	87,7-453,6	n.d.	0,19	Parco circolante medio in Italia, agg. 2017 (ISPRA, 2019)
Veicoli passeggeri Diesel	10,8-15,6	75,8-429,1	n.d.	0,54	
Furgoni benzina	5,9-12,2	97,2-440,6	n.d.	0,14	
Furgoni diesel	8,0-13,3	70,1-482,0	n.d.	0,46	
Mezzi pesanti	4,4-6,0	245,9-480,6	n.d.	0,22	
Motocicli	15,3-21,6	50,9-1087,5	n.d.	0,49	
Centrali termoelettriche (parco impiantistico medio italiano 2017)	2,6	70,5	18,4	0,10	ISPRA, 2018

Tabella 3.7 - Confronto tra fattori di emissione di diossine da attività potenzialmente coinvolte nella loro emissione in atmosfera

Attività	Fattore di emissione (µg TEQ/t)	
incenerimento rifiuti urbani - riferimento Europeo	0,02-0,2	EMEP, 2019
incenerimento rifiuti urbani - riferimento Italiano al 2010	0,1	ISPRA, 2019
incenerimento rifiuti urbani - impianti italiani ultima generazione	0,002-0,07	Dich. Amb. 2015/18
Incendi di foreste e terreni incolti	0,3-30	UNEP, 2005; Gullett 2008-2003
Incendi accidentali di rifiuti, case, veicoli, legna, macerie	120-1000	UNEP, 2005
Combustione incontrollata di rifiuti domestici	2-13000	Hedman, 2005; Gullett 2010
Combustione incontrollata di rifiuti domestici con diverso contenuto di cloro (da 0 a 7%)	14-4916	Zhang et al., 2015
Combustione incontrollata di scarti elettronici	92 (circuiti stampati) 11900 (cavi rivestiti in plastica)	Estrellan, 2010
Combustione accidentale discariche non controllate	62-2300	Wiedinmyer 2014, Solorzano 2012
Combustione biomasse uso domestico	100-1500	UNEP, 2005
	0,4 - 92,5	EMEP, 2019
	7,4	ISPRA, 2019
Produzione di piombo	0,5-80	UNEP 2005, EMEP 2019
Produzione di zinco	0,3-1000	UNEP, 2005
Produzione di rame	≤ 0,01-800	UNEP 2005, EMEP, 2019
Produzione di alluminio	0,3-100	UNEP, 2005
Produzione di ferro e acciaio	0,01-10	UNEP, 2005
Cementifici – BAT (forno a secco con precalcinatore e preriscaldatore a cicloni)	0,03·10 ⁻³ -0,6	EMEP, 2019

3.4 Il ruolo degli impianti sulla qualità dell'aria

Le simulazioni modellistiche per la valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria eseguite nell'ambito delle procedure autorizzative nazionali (AIA, VIA) mostrano che per impianti moderni e ben gestiti gli effetti sono generalmente molto limitati, sia rispetto ai livelli di fondo delle aree di insediamento che sui valori degli standard di qualità dell'aria. L'adozione delle già citate migliori tecniche disponibili (BAT) negli impianti di ultima generazione, o in quelli soggetti ad interventi di potenziamento delle capacità di processo e depurative, conferma la sua efficacia nel consentire prestazioni che mantengono accettabili le alterazioni atmosferiche indotte, sia per gli inquinanti convenzionali che per le componenti tossiche in traccia tipiche della sorgente. A titolo illustrativo la Tab. 3.8 sintetizza, in termini di NO_x e PM₁₀, i dati risultanti da alcune valutazioni condotte in Italia, che riportano l'impatto stimato da modello per l'impianto e l'intervallo delle contestuali presenze rilevate nell'area di localizzazione, dal cui confronto non emergono in alcun caso contributi apprezzabili dell'impianto sui valori rilevati in atmosfera.

Tabella 3.8 - Confronto tra concentrazioni medie annue di NO_x e PM₁₀ stimate da modello per le emissioni dell'impianto e presenze rilevate nell'area di insediamento dell'impianto stesso per alcuni casi di studio italiani.

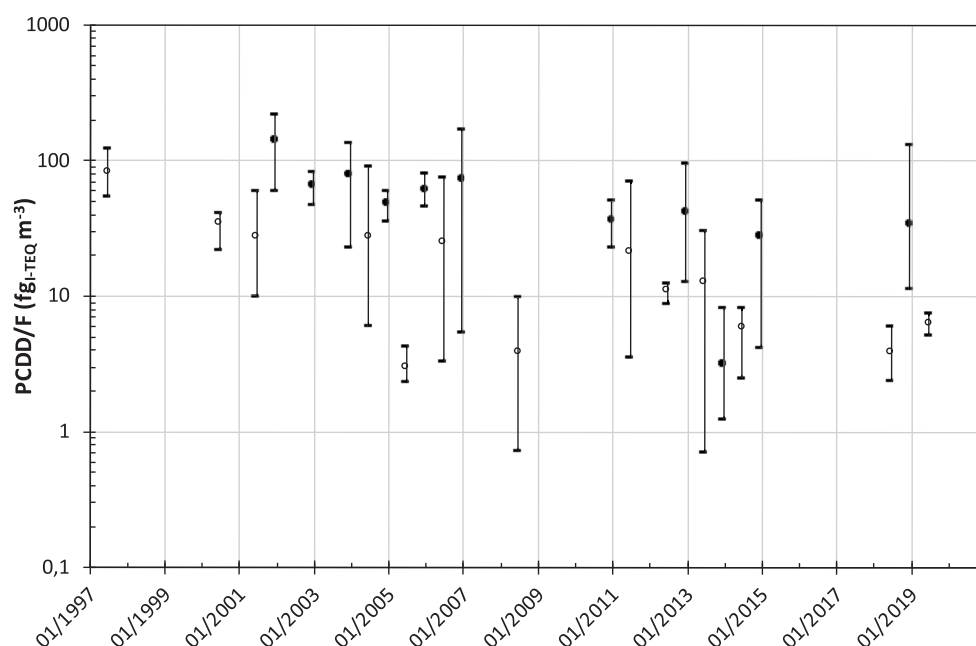
Impianto	NO _x (come NO ₂)		PM ₁₀	
	Termovalorizzatore (µg/m ³)	Presenza di fondo nell'area (µg/m ³)	Termovalorizzatore (µg/m ³)	Presenza di fondo nell'area (µg/m ³)
Milano ⁽¹⁾	0,17	34-56	0,0003	34-40
Torino ⁽²⁾	0,02 (max 0,3)	50-67	0,0004 (max. 0,005)	54-62
Bolzano ⁽³⁾	0,015 (max. 0,4)	31,3	0,0003 (max. 0,01)	17
Brescia ⁽⁴⁾	1,1 (max)	44-70	0,005 (max)	39-54
Acerra ⁽⁵⁾	0,29 (max)	25-34	0,03 (comprese polveri secondarie)	35-56
Sud Milano ⁽⁶⁾ (progetto non realizzato)	0,08	39-55	0,008	48-60
Schio ⁽⁷⁾	0,08	21	0,0006	25

⁽¹⁾ ATS Milano, 2019; ⁽²⁾ Panepinto, 2014; ⁽³⁾ DICAM, 2017; ⁽⁴⁾ Comune Brescia, 2011; ⁽⁵⁾ CNR ISAFOM, 201; ⁽⁶⁾ DIIAR, 2009; ⁽⁷⁾ AVA, 2020

Informazioni complementari e del tutto simili sono altresì ricavabili dai risultati di monitoraggi periodici in siti di insediamento di impianti in esercizio, finalizzati alla valutazione su lungo periodo delle presenze atmosferiche di inquinanti tipici della sorgente, come le diossine. Una sintesi esemplificativa dei valori rilevati nelle aree di insediamento di alcuni impianti nella pianura padana, riportata in Fig. 3.3 (Lonati, 2020), mostra presenze relativamente omogenee nel tempo per i diversi siti, con l'effetto più visibile sulle misure associato alle condizioni meteorologiche meno fa-

vorevoli alla dispersione atmosferica tipiche del regime invernale, che amplificano l'impatto delle sorgenti a bassa quota (traffico e riscaldamento) rispetto a quello delle immissioni da camini più o meno elevati, quali centrali termiche, industrie e gli stessi inceneritori. Come avviene per lo stato complessivo della qualità dell'aria, i livelli più elevati di diossine che si manifestano nelle stagioni fredde risentono anche dell'attività delle sorgenti di riscaldamento, soprattutto quelle già citate di piccola potenzialità e concezione meno avanzata quali caminetti e stufe a legna. Al di là delle variazioni interannuali attese dall'effetto combinato tra meteorologia e regimi emissivi, l'insieme dei dati per le singole aree appare relativamente stabile nel tempo, senza che se ne possa apprezzare un contributo sistematico dagli inceneritori attivi nelle aree stesse rispetto al complesso delle altre fonti antropogeniche presenti. I livelli di diossine misurati non mostrano specifiche differenze con quelli attesi in contesti urbanizzati, con o senza inceneritori, né tantomeno particolari problematiche per i livelli di riferimento adottati per valutarne gli effetti sulla salute, che risultano tutti largamente rispettati.

Figura 3.3 - Concentrazioni stagionali (medie, minimi e massimi di campioni settimanali) di diossine rilevate in diversi siti di monitoraggio nell'area di localizzazione di impianti di incenerimento in Pianura Padana (indicatori vuoti: stagione estiva; indicatori pieni: stagione invernale)



IL CASO DI STUDIO DELL'IMPIANTO DI DESIO.

L'inceneritore di Desio è stato recentemente oggetto di uno studio comparativo (Lonati et al., 2018), finalizzato ad identificare il significato del ruolo dell'impianto sulla qualità dell'aria rispetto a quello del traffico diffuso dell'area, che rappresenta quantitativamente un'importante fonte di emissione, insieme al riscaldamento civile in periodo invernale. La valutazione ha coinvolto gli inquinanti in grado di tracciare adeguatamente entrambe le sorgenti, costituiti da NO_x, PM₁₀, Cd e diossine, ed ha utilizzato un modello di dispersione alimentato con i flussi di massa rilevati dal sistema di monitoraggio dell'impianto a camino e con quelli ricavati dai dati di traffico diffuso giornaliero prodotti da uno studio di simulazione del traffico stesso per l'area di interesse, abbinati ai corrispondenti fattori di emissione del parco circolante medio in Lombardia, quando possibile, o a livello nazionale. L'impianto, che tratta circa 90.000 t/anno di rifiuti urbani ed assimilabili e produce energia elettrica e calore per la rete di teleriscaldamento dell'area urbana, ha una configurazione complessiva allineata con le BAT di settore, con una linea di depurazione fumi costituita da un depolveratore elettrostatico, un sistema a secco con filtro a maniche e dosaggio di agente neutralizzante e carbone attivo ed un'unità finale di riduzione catalitica selettiva (SCR). I risultati della simulazione mostrano contributi estremamente modesti, quando non irrilevanti, dell'inceneritore, sia in termini dei valori massimi attesi che di quelli medi per l'area urbana, con livelli di concentrazione inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelli derivanti dal traffico diffuso (Tab. 3.9). Il tutto nonostante la probabile sottostima delle emissioni dal traffico stesso, sia per le approssimazioni in alcune delle ipotesi sulle caratteristiche del parco circolante locale che per le esigenze pratiche di dover escludere, nel modello di traffico, i movimenti associati alla rete stradale secondaria, considerando solo quelli prevalenti lungo le arterie principali.

Tabella 3.9 - Impianto di Desio - Concentrazioni massime e medie per l'area urbana risultanti dalla simulazione modellistica delle emissioni dall'inceneritore e del traffico diffuso

Inquinante	Parametro	Sorgente emissione	Valori
NO ₂ (µg/m ³)	Massimo	inceneritore	0,08
		Traffico diffuso	20
	Media area urbana	inceneritore	0,05-0,07
		Traffico diffuso	6-10
PM ₁₀ (µg/m ³)	Massimo	inceneritore	0,00044
		Traffico diffuso	6
	Media area urbana	inceneritore	0,0002-0,00035
		Traffico diffuso	2-3
Cd (ng/m ³)	Massimo	inceneritore	0,0005
		Traffico diffuso	0,1
	Media area urbana	inceneritore	0,0003 - 0,0004
		Traffico diffuso	0,02-0,03
Diossine (fg _{I-TEQ} /m ³)	Massimo	inceneritore	0,00081
		Traffico diffuso	3
	Media area urbana	inceneritore	0,0005-0,0007
		Traffico diffuso	0,5-1

4. IL BILANCIO AMBIENTALE DELL'INCENERITORE

4.1 Energia elettrica e termica prodotta, benefici ambientali per emissioni evitate e per la riduzione di combustibili fossili

Come precedentemente riportato (Capitolo 2) un impianto può funzionare in assetto solo elettrico, o in assetto cogenerativo, con la produzione combinata di energia elettrica e termica.

L'energia elettrica immessa in rete sostituisce una quota della produzione elettrica centralizzata e di conseguenza evita i relativi impatti ambientali, espressi come consumo di energia primaria ed emissioni in atmosfera.

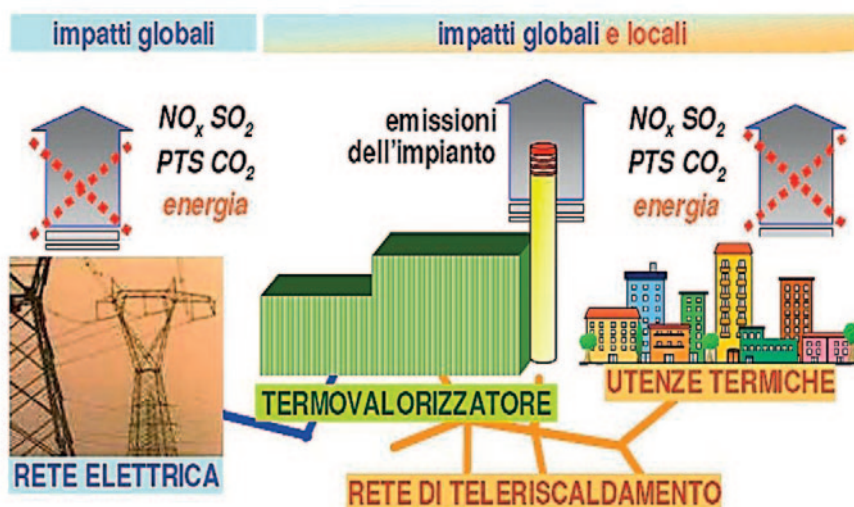
Allo stesso modo, l'erogazione di calore mediante teleriscaldamento consente di sostituire il funzionamento delle centrali termiche delle utenze ed i relativi impatti come consumo di energia primaria ed emissioni in atmosfera. In questo caso gli impatti evitati coincidono in modo univoco con quelli degli impianti effettivamente sostituiti.

Nella stesura di un bilancio ambientale (ISPRA, 2018) le due componenti di impatto evitato rappresentano una compensazione del carico ambientale introdotto dall'inceneritore.

Nell'analisi occorre porre attenzione al fatto che tutti i contributi (sia aggiunti che evitati) devono essere valutati su differenti dimensioni territoriali (in particolare per quanto riguarda le emissioni). A seconda della loro origine devono essere considerati (come riportato in Figura 4.1):

- su scala locale, ovvero nel medesimo contesto territoriale sul quale insistono gli impatti apportati dall'inceneritore (territorio comunale o sovracomunale);
- su scala globale, ovvero in un contesto territoriale decisamente più ampio (territorio nazionale).

Figura 4.1 - Bilancio ambientale del recupero energetico da rifiuti



Tale compensazione può essere calcolata con un semplice bilancio:

Emissioni (aggiunte/sottratte) = emissioni impianto incenerimento – emissioni sostituite (da impianti termici e/o termoelettrici)

Occorre tuttavia tenere presente che il risultato di un bilancio ambientale non è direttamente collegato alla modifica della qualità dell'aria. Infatti la tipologia delle emissioni aggiunte/sottratte è molto differente in termini di dinamica degli inquinanti in atmosfera (ad esempio il camino dell'inceneritore è caratterizzato da emissioni disperse ad una quota maggiore rispetto a quelle derivanti dalle caldaie domestiche sostituite).

Quindi, al fine di valutare gli effetti sulla qualità dell'aria, sarà necessaria l'implementazione di modelli di dispersione e ricaduta degli inquinanti.

A titolo di esempio si riporta la situazione relativa all'impianto di incenerimento di Torino. Nel 2018 l'impianto ha trattato un quantitativo di rifiuti pari a 530.040 t producendo un quantitativo di energia elettrica pari a 399.111 MWh (TRM). Grazie alla produzione e all'immissione nella rete di distribuzione nazionale dell'energia elettrica prodotta è stato possibile conseguire, su scala globale, una riduzione nell'emissione di CO₂ pari a 212.000 t/a (circa 0.4 tCO₂/t rifiuto incenerito).

4.2 Bilancio ambientale rispetto alla discarica; indicatori ambientali sintetici dell'inceneritore

Volendo confrontare le emissioni prodotte da un impianto di incenerimento di rifiuti urbani rispetto alle emissioni derivanti dallo smaltimento degli stessi in discarica occorre innanzitutto evidenziare come in un impianto di incenerimento le emissioni siano convogliate in un unico punto e depurate fino all'ottenimento di concentrazioni inquinanti inferiori rispetto ai limiti legislativi, mentre quelle derivanti dalla discarica siano in parte emissioni diffuse e non trattate. È infatti fisiologicamente impossibile, in una discarica, conseguire la captazione della totalità del biogas generato. L'unico parametro inquinante che non subisce trattamenti di depurazione in entrambi i sistemi di smaltimento è l'anidride carbonica CO₂. Può pertanto risultare utile un bilancio rispetto a tale parametro (in termini di CO₂ equivalente) al fine di formulare delle valutazioni. Tale argomento è affrontato in numerosi studi presenti in letteratura (Ragossnig et al., 2009; Panepinto et al., 2016; Panepinto and Zanetti, 2018). In particolare, nello studio condotto da Panepinto e Genon (2014) viene effettuato il confronto espresso in termini di bilancio di CO_{2eq} tra la gestione del rifiuto prodotto nell'area torinese mediante incenerimento e mediante discarica (in questo secondo caso, oltre alle emissioni di anidride carbonica sono state valutate anche le emissioni di metano). Il risultato di tale studio evidenzia un beneficio ambientale relativo all'utilizzo dell'incenerimento: in tal caso si ha una emissione di CO_{2eq} pari a 0,42 tCO_{2eq}/t rifiuto trattato, mentre nel caso di smaltimento in discarica tale fattore è pari a 3,28 tCO_{2eq}/t rifiuto smaltito. Possiamo quindi concludere che l'impatto in termini di emissione di CO₂ dello smaltimento in discarica è circa 8 volte superiore rispetto a quello generato dallo smaltimento mediante trattamento termico.

4.3 Riduzione dell'impiego di materiali inerti grazie al recupero delle ceneri pesanti

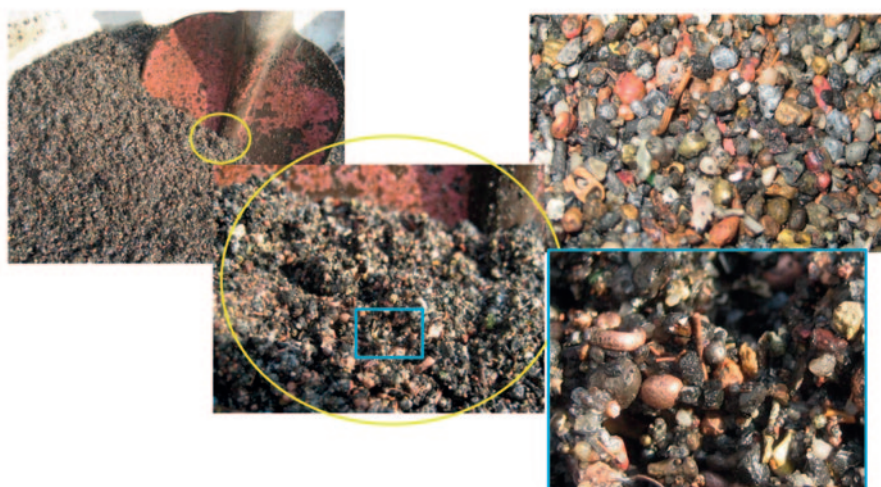
La valutazione della sostenibilità ambientale del processo di incenerimento dei rifiuti non può prescindere dall'analisi del contributo dei residui solidi, costituiti, come già specificato, dalle ceneri pesanti e dai residui di depurazione dei fumi. Con particolare riferimento alle ceneri pesanti, che rappresentano il residuo più rilevante in termini di massa, lo smaltimento in discarica risulta ormai quasi del tutto abbandonato, a favore di pratiche di recupero e riutilizzo sempre più avanzate.

Le ceneri pesanti contengono diverse componenti recuperabili: innanzitutto metalli ferrosi e non ferrosi che, presenti nel rifiuto iniziale, si concentrano poi nel residuo solido della combustione. Il contenuto di metalli ferrosi varia in media tra il 7 e il 10% in peso delle ceneri pesanti, mentre il contenuto di metalli non ferrosi è compreso tra l'1 e il 2,5%, di cui la frazione prevalente (circa i due terzi) è rappresentata dall'alluminio, seguita dal rame (Lamers, 2015a; Allegrini et al., 2014; Biganzoli et al., 2013). La frazione minerale, componente predominante delle ceneri (fino al 90% in peso), può essere invece impiegata come inerte principalmente nel settore della produzione di cementi e di calcestruzzi, o nell'ingegneria civile per la costruzione di sottofondi stradali o di conglomerati bituminosi. In quest'ottica, l'incenerimento si pone come tecnologia che permette di trattare i rifiuti consentendo sia il recupero di energia, termica ed elettrica, sia di materiali che, una volta confluiti nel rifiuto indifferenziato o residuo, non sarebbero recuperabili diversamente.

Il settore del trattamento delle ceneri pesanti ha vissuto, come precedentemente rilevato, un grande sviluppo in Italia ed Europa, con la realizzazione di impianti di recupero molto sofisticati. Si citano in particolare le esperienze danesi, quelle olandesi e quelle svizzere.

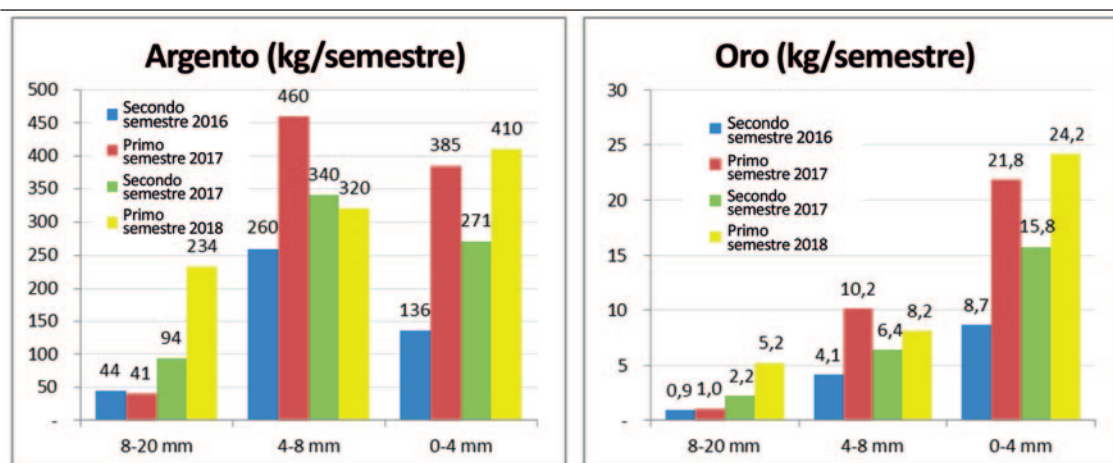
In Danimarca l'impianto Afatek di Copenaghen, centralizzato al servizio di numerosi inceneritori, prevede un esteso periodo di maturazione all'aperto finalizzato a diminuire il contenuto d'acqua e a stabilizzare il materiale grazie a processi di carbonatazione naturale mediante assorbimento di CO₂ atmosferica. Successivamente vengono operati trattamenti di deferrizzazione ed estrazione dei metalli non ferrosi su tagli granulometrici differenti, fino al di sotto di 1 mm. La componente inerte è destinata ad utilizzo come sottofondi stradali, anche negli strati superiori (in prossimità dell'asfalto), dove può sostituire materiali naturali di maggior valore economico. Un approccio differente è quello adottato nell'impianto di Hinwil in Svizzera, sempre un'unità centralizzata a servizio degli inceneritori del Cantone di Zurigo, tutti caratterizzati da un sistema di estrazione a secco delle ceneri pesanti. La totale mancanza di umidità del materiale consente un'eccellente separazione dei metalli anche da frazioni molto fini (fino al di sotto del millimetro), così come è prevista l'estrazione di vetro di elevata qualità da avviare a riciclo. La frazione minerale, sebbene pressoché priva di metalli, viene conferita in discarica, ai sensi delle normative elvetiche e della richiesta di mercato pressoché nulla di materiali inerti in un paese come la Svizzera.

Figura 4.2 - Componente metallica non ferrosa pesante recuperata da ceneri pesanti di incenerimento estratte a secco. È evidente in particolare la presenza di rame



Infine nei Paesi Bassi il nuovo impianto Heros di Terneuzen prevede la valorizzazione della frazione inerte come materiale da costruzione per sottofondi stradali e fondazioni di edifici, e come aggregato per calcestruzzi, asfalti e per l'industria ceramica, in linea con il "Green Deal"⁵. Relativamente ai metalli, la componente non ferrosa subisce un ulteriore processo di *upgrading* mediante separazione dei metalli leggeri (alluminio) da quelli pesanti, incrementandone così il rispettivo valore rispetto al flusso misto originario. Si fa presente come la componente non ferrosa pesante sia infatti costituita in prevalenza da rame, ma con presenze non trascurabili di metalli preziosi quali oro e argento.

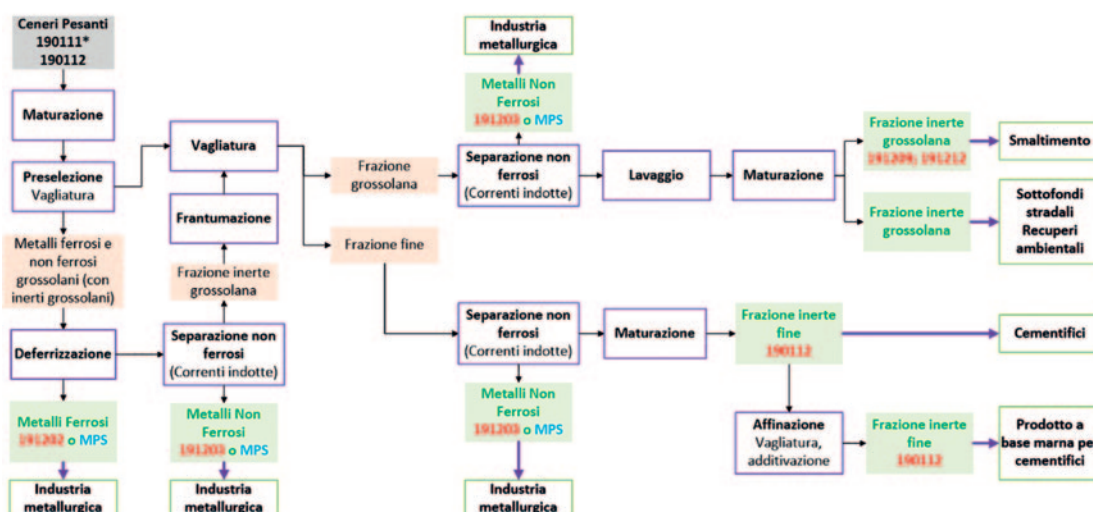
Figura 4.3 - Quantitativi di argento e oro recuperati dalle ceneri pesanti in un impianto di trattamento in Olanda (Born, 2018). Si rileva, in particolare per l'oro, la notevole presenza nella frazione inferiore a 4 mm



⁵ Il "Green Deal" è un accordo tra l'Associazione olandese dei Gestori dei Rifiuti e il Ministero delle Infrastrutture e dell'Ambiente dei Paesi Bassi, finalizzato alla produzione di materiali inerti dalle ceneri pesanti che possano essere utilizzati in applicazioni non confinate. Il Green Deal fissa inoltre degli obiettivi molto ambiziosi relativamente al recupero dei metalli dalle ceneri pesanti (Lamers, 2015b)

In Italia il trattamento delle ceneri pesanti avviene all'interno di impianti di taglia medio-grande localizzati prevalentemente in Lombardia ed Emilia-Romagna, laddove si concentrano i principali inceneritori. Tra le principali realtà si citano RMB e Officina dell'Ambiente, attivi ormai da parecchio tempo nel settore, caratterizzati da un trattamento molto spinto e orientato, nel primo caso, alla massimizzazione del recupero dei metalli, nel secondo alla valorizzazione delle componenti inerti. Di particolare interesse, per quest'ultimo la produzione di materiali dotati di numerose certificazioni di prodotto, non solo di tipo prestazionale (Declaration Of Performance – DOP) ma anche ambientale (Environmental Product Declaration – EPD), che ne consentono una adeguata valorizzazione anche all'interno di schemi di edilizia sostenibile (es. certificazione LEEDS), in termini di premialità per l'utilizzo di materiali riciclati.

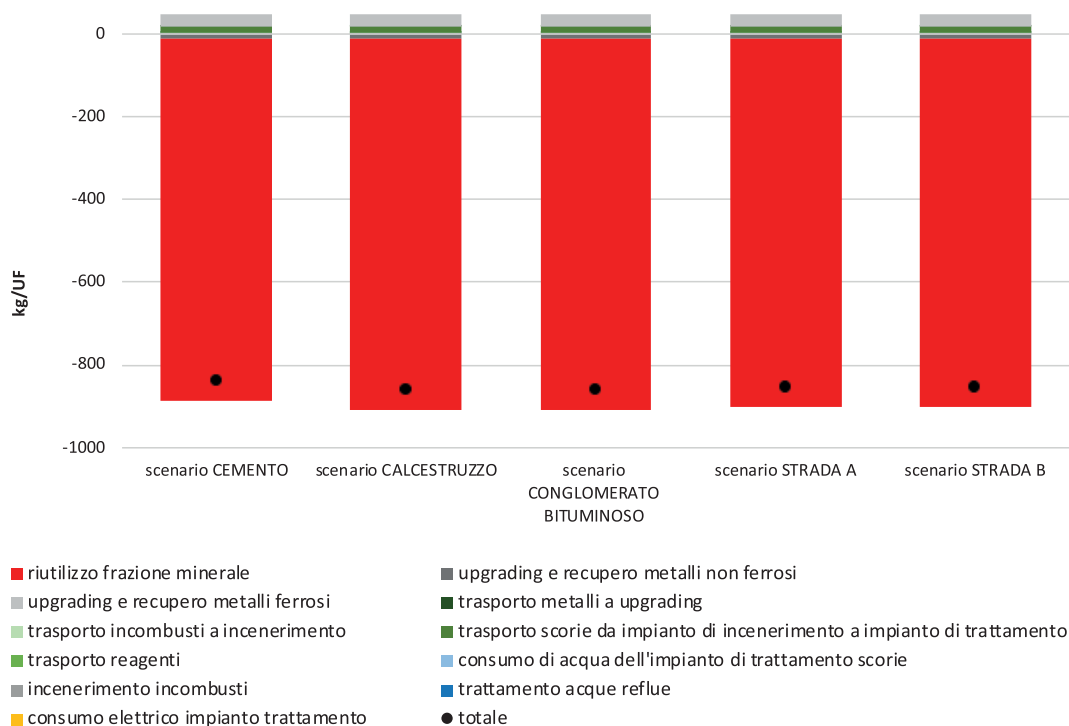
Figura 4.4 - Esempio di impianto di trattamento delle ceneri pesanti



Numerosi studi hanno valutato i benefici ambientali del recupero delle ceneri pesanti adottando un approccio del ciclo di vita (LCA). Tra questi si citano in particolare quelli condotti da Politecnico di Milano, sia nello studio svolto per conto di CiAl e Federambiente nel 2009 (CiAl, 2010) sia in tempi più recenti per Utilitalia. Con riferimento a quest'ultimo, che si è basato sull'analisi di una situazione media italiana di trattamento delle ceneri, il recupero dei metalli e della frazione minerale generano complessivamente dei benefici ambientali per tutte le categorie di impatto considerate, indipendentemente dallo specifico destino della frazione minerale. Gli impatti ambientali, associati principalmente al trasporto delle ceneri pesanti dagli impianti di incenerimento all'impianto di trattamento, all'incenerimento degli incombusti o al recupero della frazione minerale, sono infatti più che compensati dai benefici generati dal recupero dei rottami metallici, sia ferrosi che non ferrosi. Per quanto riguarda la frazione minerale, si genera mediamente un risparmio di più di 800 kg di minerali naturali per tonnellata di ceneri pesanti avviate a trattamento (Fig. 4.5). A giocare un ruolo fondamentale in questo caso è proprio il recupero della frazione minerale delle ceneri pesanti in sostituzione di aggregati naturali nella produzione di cemento,

calcestruzzo, conglomerato bituminoso e misti cementati. Tale materiale recuperato, costituito in buona parte da sabbia, può rivestire un ruolo importante alla luce di alcune recenti rilevazioni inerenti i rischi concreti di scarsità nella disponibilità di tale materiale a livello globale (UNEP, 2014).

Figura 4.5 - Indicatore di consumo delle risorse minerali naturali associato al trattamento di 1 tonnellata di ceneri pesanti e al recupero dei metalli in esse contenuti e della frazione minerale risultante, per cinque diverse alternative di utilizzo di quest'ultima



5. GLI IMPIANTI NATI IN SITUAZIONI EMERGENZIALI (TMB E IMPIANTI DI BIOESSICCAZIONE)

5.1 Cenni a finalità, efficienza e prestazioni, bilancio ambientale (LCA)

La sigla TMB si riferisce a impianti di Trattamento Meccanico Biologico, essenzialmente di rifiuto urbano residuo (RUR), che tramite l'integrazione di operazioni di tipo meccanico e processi di tipo biologico, trasformano il flusso in ingresso in sotto-flussi di materiali a diversa destinazione/valorizzazione.

Con riferimento alle varie combinazioni possibili è utile inquadrare questa impiantistica in due principali categorie: impianti a flusso unico e impianti a flusso separato. Nel primo caso, lo schema d'impianto prevede che la totalità del rifiuto in ingresso venga sottoposta al processo biologico, tipicamente di bioessiccazione. Si tratta di un processo che nel giro di 1-2 settimane riduce la presenza di umidità nel rifiuto rendendolo più idoneo alla successiva separazione di materiali non combustibili e alla produzione di un combustibile solido secondario. Nel secondo caso, al processo biologico arriva una sotto-frazione del rifiuto in ingresso per via della presenza di un vaglio selettivo prima del processo biologico stesso, tipicamente di biostabilizzazione. Il vaglio è un dispositivo meccanico in grado di separare frazioni fini (ricche di organico) da frazioni grossolane (più secche e ricche di materiali combustibili come plastica e carta). I due processi biologici citati e la loro collocazione in un impianto TMB sono schematizzati nelle figure 5.1 e 5.2 seguenti. Entrambi i processi biologici sono aerobici, ovvero richiedono un flusso di aria per sostenere il processo biochimico.

Come si può osservare, i due processi biologici sono supportati da operazioni di tipo meccanico. Con riferimento alla prima figura, la pellettizzazione è un trattamento meccanico per ottenere un CSS di dimensioni ridotte e caratteristiche omogenee, più interessante per specifiche applicazioni industriali dove la pezzatura del combustibile può avere un ruolo rilevante. La pellettizzazione comporta però la produzione di scarti destinati prevalentemente a discarica.

Figura 5.1 - Schema di un TMB con processo di bioessiccazione

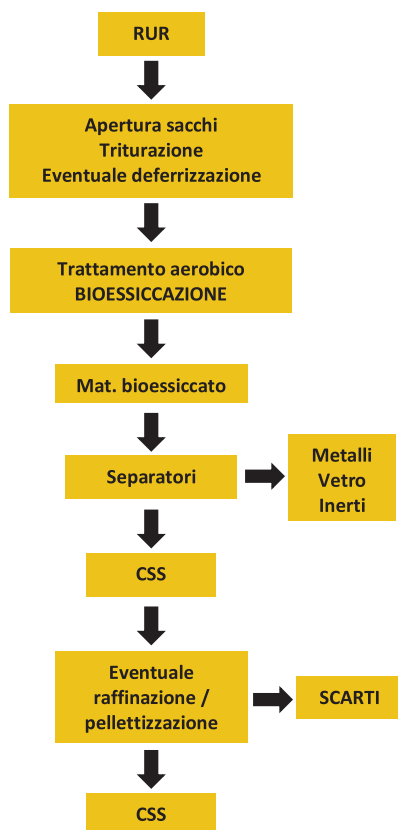
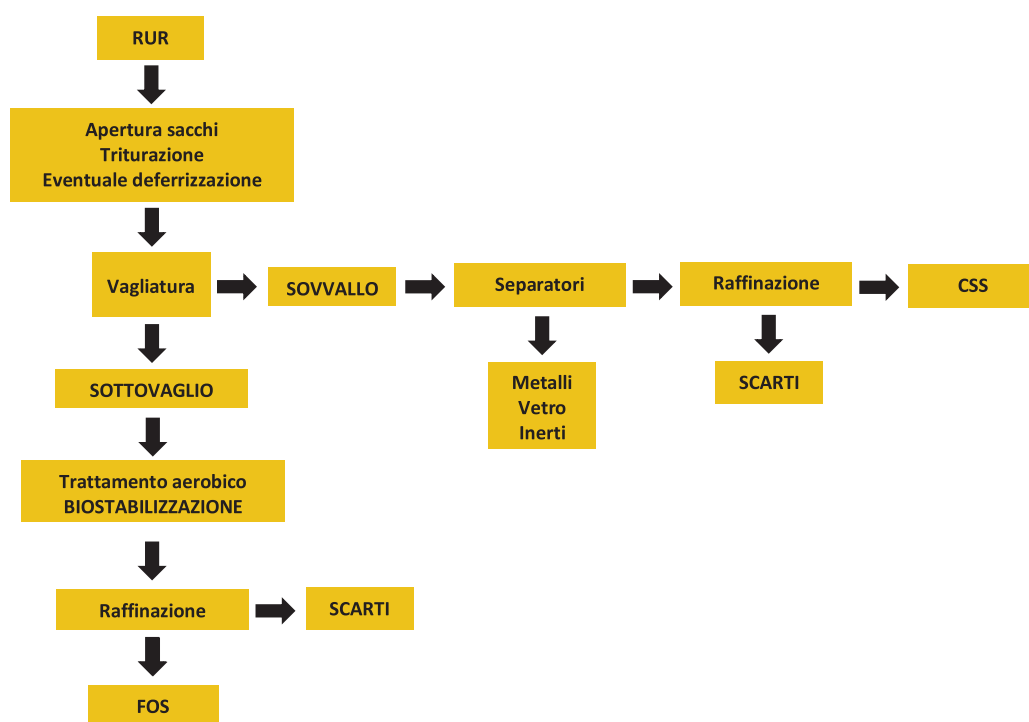


Figura 5.2 - Schema di un TMB con processo di biostabilizzazione



Con riferimento alla seconda figura, la triturazione indicata ha essenzialmente un ruolo di apri-sacchi, essendo collocata a monte di un vaglio che seleziona in base alla pezzatura. Le unità di raffinazione non sono obbligatorie, ma dipendono dall'obiettivo del trattamento. La sigla FOS indica la Frazione Organica Stabilizzata, che può essere usata per particolari ripristini ambientali; in questa sede, comunque, si farà riferimento alla biostabilizzazione come pretrattamento preliminare alla discarica.

5.2 Casi nazionali e in Europa

Secondo i dati di ISPRA (Rapporto RU 2018, Ispra) gli impianti di TMB hanno trattato in Italia, nel 2017, quasi dieci milioni di tonnellate di RUR e oltre un milione di tonnellate di altri rifiuti.

Per quanto riguarda la destinazione finale dei rifiuti/materiali prodotti dal trattamento meccanico biologico nell'anno 2017, l'analisi di ISPRA mostra che circa la metà è smaltito in discarica, mentre circa un quinto è avviato a impianti di incenerimento. Al co-incenerimento (in cementifici, ecc.) è avviato quasi un milione di tonnellate di rifiuti: si tratta in prevalenza di CSS e sono ivi comprese circa 137 mila tonnellate di rifiuti co-inceneriti all'estero: in particolare, in Ungheria, Austria e Portogallo.

Con riferimento allo studio di Consonni et al., riferito al contesto italiano, rispetto a soluzioni di pretrattamento dei RUR prima del recupero energetico, la combustione diretta beneficia di indicatori di impatto positivi e di minor fabbisogno di discarica. Ciò dipende dal fatto che pretrattare i RUR richiede sempre un consumo di energia elettrica di fatto non recuperabile a posteriori; inoltre, più è spinto il pretrattamento, più elevati sono gli scarti prodotti che devono trovare opportuna collocazione.

Il lavoro di Panagiotis Psaltis e Dimitrios Komilis (WM 2019) evidenzia analogamente come il pretrattamento dei RUR riduca la produzione di energia netta. Il risparmio di energia ottenibile con la combustione diretta al posto del pretrattamento di bio-essiccazione seguito dalla combustione è stato indicato pari al 5%.

Uno studio di Giugliano et al (2011) pone l'attenzione sul fatto che negli scenari analizzati i TMB non troverebbero spazio, considerando che con una raccolta differenziata ottimizzata, il RUR è destinabile direttamente a un inceneritore, senza dover passare per un TMB. Infatti, con una raccolta differenziata spinta, la quantità di organico presente nei RUR diventa non compatibile con la realizzazione di un TMB e i materiali recuperabili dai RUR diventano trascurabili.

Per quanto riguarda i casi europei, uno studio comparativo di LCA riguardante otto scenari includenti impianti TMB ha evidenziato che le prestazioni dipendono fortemente dall'efficienza di recupero di energia e materia. In particolare, una maggiore automazione del recupero di materia dovrebbe essere un'opzione prioritaria e la destinazione della frazione organica dovrebbe essere funzionale alla produzione di biogas. Questo tipo di approccio, però, si scontra in parte con la richiesta dell'Unione Europea di effettuare un pretrattamento a discarica funzionale ad annullare la generazione di biogas, a causa delle emissioni fuggitive che hanno un impatto significativo come gas serra (Monteiro et al., 2013).

Più in generale occorre segnalare che la letteratura di settore mette a disposizione dei *decision makers* un certo numero di studi LCA comparativi. Il problema maggiore

per la valorizzazione dei loro contenuti e risultati è legato al fatto che lo scenario di riferimento non è stabile, ad esempio in termini di fattori di emissione di alcuni inquinanti, al migliorare della tecnologia nel tempo, ma anche in termini di bilancio della CO₂ con riferimento alla generazione di elettricità su base nazionale. È perciò opportuno disporre di valutazioni sempre aggiornate e riferite ai singoli casi di interesse per poter decidere correttamente una strategia di valorizzazione energetica dei RUR. Va peraltro rilevato che, a parte i TMB finalizzati alla produzione di CSS, queste tipologie di impianti si inseriscono in contesti che sono in ritardo nel raggiungere una situazione ottimale di gestione dei rifiuti.

6. ASPETTI AUTORIZZATIVI E PARCELLIZZAZIONE DELLE RESPONSABILITÀ E DELLE COMPETENZE

La vigente normativa italiana che disciplina l'autorizzazione alla realizzazione e all'esercizio degli inceneritori di rifiuti è definita dal Dlgs. N. 152 del 2006, che recepisce diverse Direttive europee.

La materia delle autorizzazioni, strettamente legata al concetto di "impatto sull'ambiente" e della relativa valutazione, è trattata nella Parte II del decreto.

La realizzazione di alcune categorie di opere, tra le quali gli inceneritori di rifiuti, richiede che sia condotta con esito favorevole una Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), ossia un procedimento amministrativo in carico a un'Autorità competente che deve valutare la compatibilità degli impatti ambientali probabili o possibili causati dalla realizzazione, dall'esercizio e dalla futura dismissione dell'opera in esame, con la tutela della salute pubblica, la preservazione dell'ambiente e delle risorse naturali. Per gli inceneritori di rifiuti, l'Autorità competente è normalmente la Regione territorialmente competente, che può delegare singole province e città metropolitane. Accanto alla VIA, esiste un altro strumento autorizzativo indispensabile per l'esercizio di un inceneritore di rifiuti, che è l'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA). L'esercizio di un impianto avviene ai sensi di legge nel rispetto dell'AIA, mentre la sua realizzazione o l'introduzione di significative modifiche richiede anche il procedimento di VIA.

Normalmente, un provvedimento VIA contiene:

- a) le condizioni per la realizzazione, l'esercizio e la dismissione del progetto, nonché quelle relative ad eventuali malfunzionamenti;
- b) le linee di indirizzo da seguire nelle successive fasi di sviluppo progettuale delle opere per garantire l'applicazione di criteri ambientali atti a contenere e limitare gli impatti ambientali significativi e negativi o incrementare le prestazioni ambientali del progetto;
- c) le misure previste per evitare, prevenire, ridurre e, se possibile, compensare gli impatti ambientali significativi e negativi;
- d) le misure per il monitoraggio degli impatti ambientali significativi e negativi, nonché la tipologia dei parametri da monitorare e la durata del monitoraggio.

Il provvedimento AIA, invece, contiene tutte le misure necessarie al fine di conseguire un livello elevato di protezione dell'ambiente nel suo complesso. In particolare:

- a) la descrizione dei processi realizzati;
- b) la definizione delle dimensioni autorizzate delle diverse attività;
- c) l'individuazione delle tipologie di probabili / possibili emissioni inquinanti nell'aria, nelle acque e nel suolo;

- d) le prescrizioni dei valori limite delle suddette emissioni sia in condizioni di funzionamento normale, sia in caso di eventuali malfunzionamenti e/o fuori dalle condizioni di esercizio normali;
- e) le ulteriori prescrizioni che garantiscono la protezione del suolo e delle acque sotterranee, le opportune disposizioni per la gestione dei rifiuti prodotti dall'impianto e per la riduzione dell'impatto acustico, nonché disposizioni adeguate alla manutenzione e alle verifiche periodiche delle misure adottate per prevenire le emissioni nel suolo e nelle acque sotterranee;
- f) gli opportuni requisiti di controllo delle emissioni, la metodologia e la frequenza di misurazione, le condizioni per valutare la conformità, la relativa procedura di valutazione, nonché l'obbligo di comunicare all'Autorità competente periodicamente, e almeno una volta all'anno, i dati necessari per verificarne la conformità alle condizioni di autorizzazione ambientale integrata;
- g) la programmazione di specifici controlli almeno una volta ogni cinque anni per le acque sotterranee e almeno una volta ogni dieci anni per il suolo, a meno che sulla base di una valutazione sistematica del rischio di contaminazione non siano state fissate diverse modalità o più ampie frequenze per tali controlli;
- h) l'attività ispettiva presso l'impianto, svolta con oneri a carico del Gestore, dall'Autorità di controllo e che prevede l'esame di tutta la gamma degli effetti ambientali indotti dall'impianto;
- i) le misure relative alle condizioni diverse da quelle di esercizio normali, in particolare per le fasi di avvio e di arresto dell'impianto, per le emissioni fuggitive, per i malfunzionamenti, e per l'arresto definitivo dell'impianto;
- j) disposizioni circa la redazione di progetti migliorativi, da presentare, ovvero il raggiungimento di determinate ulteriori prestazioni ambientali in tempi fissati, impegnando il Gestore a individuare le tecniche da implementare a tal fine;
- k) la previsione di adeguate garanzie finanziarie, da prestare entro 12 mesi dal rilascio dell'autorizzazione in favore della Regione o dell'ambito territorialmente competente in accordo con i preposti Decreti ministeriali.

Quando un impianto è realizzato *ex novo*, si ricorre normalmente a un procedimento autorizzativo integrato che, oltre a comprendere VIA e AIA, include anche una serie di altri permessi e autorizzazioni necessari per la realizzazione e l'esercizio dell'opera. Tanto il decreto legislativo, quanto le Direttive europee che esso recepisce, stabiliscono che la partecipazione delle popolazioni interessate e, più in generale, della Società tutta, al processo decisionale che conduce all'autorizzazione di un'opera soggetta a procedura VIA / AIA sia un elemento imprescindibile dell'esercizio democratico della funzione amministrativa delle Istituzioni.

Conseguentemente, oltre a prevedere dei momenti dedicati di raccolta delle osservazioni dei cittadini e delle associazioni sui progetti da autorizzare, è prevista anche la possibilità di adottare un percorso di confronto pubblico preventivo alla presentazione d'istanza d'autorizzazione del Progetto. Il Dlgs. N. 50 del 2016 disciplina lo svolgimento di questa fase di dibattito / inchiesta pubblica.

L'istanza di VIA o di autorizzazione integrata unica presentata da un soggetto Proponente all'Autorità competente deve includere:

- a) il progetto definitivo dell'opera;
- b) lo studio di impatto ambientale;
- c) la sintesi non tecnica;
- d) le informazioni sugli eventuali impatti transfrontalieri del Progetto;
- e) l'avviso al pubblico;
- f) copia della ricevuta di avvenuto pagamento del contributo dovuto;
- g) i risultati della procedura di dibattito pubblico eventualmente svolta ai sensi del Dlgs. N. 50 del 2016.

Lo studio di impatto ambientale è un documento contenente almeno i seguenti elementi:

- a) una descrizione del Progetto, comprendente informazioni relative alla sua ubicazione e concezione, alle sue dimensioni e a altre sue caratteristiche pertinenti;
- b) una descrizione dei probabili effetti significativi del Progetto sull'ambiente, sia in fase di realizzazione che in fase di esercizio e di dismissione;
- c) una descrizione delle misure previste per evitare, prevenire o ridurre e, possibilmente, compensare i probabili impatti ambientali significativi e negativi;
- d) una descrizione delle alternative ragionevoli prese in esame dal Proponente, adeguate al Progetto e alle sue caratteristiche specifiche, compresa l'alternativa zero, con indicazione delle ragioni principali alla base dell'opzione scelta, prendendo in considerazione gli impatti ambientali;
- e) il progetto di monitoraggio dei potenziali impatti ambientali significativi e negativi derivanti dalla realizzazione e dall'esercizio del Progetto, che include le responsabilità e le risorse necessarie per la realizzazione e la gestione del monitoraggio;
- f) qualsiasi informazione supplementare relativa alle caratteristiche peculiari di un progetto specifico o di una tipologia di progetto e dei fattori ambientali che possono subire un pregiudizio.

A tale Studio di Impatto Ambientale deve essere allegata una sintesi non tecnica facilmente comprensibile da chiunque.

L'istanza di VIA può, inoltre, contenere una o più Valutazioni di incidenza, ossia l'esito di studi a carattere preventivo tesi a quantificare l'eventuale incidenza del Progetto su siti della rete Natura 2000, singolarmente o congiuntamente ad altri piani e progetti e tenuto conto degli obiettivi di conservazione dei siti stessi. La rete Natura 2000 è un catalogo di Siti di Interesse Comunitario (SIC), Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS). Si tratta del principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità.

L'avviso al pubblico di un'istanza di autorizzazione integrata unica è un testo predisposto dal Proponente per l'avviso pubblico dell'inizio del procedimento autorizzativo di un Progetto. Esso deve indicare almeno:

- a) il Proponente, la denominazione del progetto e la tipologia di procedura auto-

- rizzativa necessaria ai fini della realizzazione del Progetto;
- b) l'avvenuta presentazione dell'istanza di VIA e l'eventuale applicazione delle disposizioni relative alle consultazioni transfrontaliere;
 - c) la localizzazione e una breve descrizione del Progetto e dei suoi possibili principali impatti ambientali;
 - d) l'indirizzo web e le modalità per la consultazione della documentazione e degli atti predisposti dal Proponente nella loro interezza (salvo eventuali parti coperte da vincolo di confidenzialità);
 - e) i termini e le specifiche modalità per la partecipazione del pubblico;
 - f) l'eventuale necessità di valutazioni di incidenza;
 - g) l'elenco di tutte le autorizzazioni (tra le quali VIA e AIA), intese, concessioni, licenze, pareri, concerti, nulla osta e assensi comunque denominati, necessari alla realizzazione e all'esercizio del Progetto.

Il procedimento istruttorio e di rilascio dell'autorizzazione integrata unica è un articolato processo amministrativo del quale si fornisce di seguito la possibile sequenza di passaggi:

1. Il Proponente presenta istanza di procedimento autorizzativo unico, contenente la richiesta di tutte le autorizzazioni (tra le quali VIA e AIA), intese, concessioni, licenze, pareri, concerti, nulla osta e assensi comunque denominati, necessari alla realizzazione e all'esercizio del Progetto;
2. L'istanza deve contenere tutta la documentazione e gli elaborati progettuali previsti dalle normative di settore per consentire la compiuta istruttoria tecnico-amministrativa finalizzata al rilascio di tutte le autorizzazioni, intese, concessioni, licenze, pareri, concerti, nulla osta e assensi comunque denominati. Devono essere presenti tutti i documenti previsti dal procedimento VIA, oltre a quelli richiesti per il rilascio delle altre autorizzazioni;
3. Entro 10 gg dalla presentazione dell'istanza, l'Autorità competente verifica i requisiti base per la procedibilità e pubblica sul proprio sito istituzionale la documentazione ricevuta non coperta da vincolo di confidenzialità (alcune informazioni / documenti possono essere designati dal Proponente come segreto industriale e/o confidenziali dal punto di vista commerciale). Avvisa, quindi, tutti gli enti interessati e/o chiamati a esprimersi e/o competenti per il rilascio di specifiche autorizzazioni;
4. Entro 30 gg dalla pubblicazione della documentazione, l'Autorità competente e gli enti coinvolti, ognuno per i propri profili di competenza, verificano l'adeguatezza e la completezza della documentazione trasmessa e formulano eventuali richieste d'integrazione;
5. L'Autorità competente fissa un termine di massimo 30 gg al Proponente, per evadere le richieste di integrazioni formulate;
6. Ricevute le eventuali integrazioni, l'Autorità competente e gli altri enti competenti hanno 15 gg di tempo per esprimersi sulla completezza di quanto ricevuto.
7. Nel caso il Proponente non trasmetta le integrazioni richieste entro il termine stabilito, ovvero l'Autorità competente le ritenga ancora incomplete, l'istanza d'autorizzazione è, rispettivamente, considerata ritirata dal Proponente o inad-

- guata e, in entrambi i casi, da archiviare a opera dell'Autorità competente;
8. A esito della valutazione di adeguatezza e completezza, tutta la documentazione ricevuta e non coperta da confidenzialità è pubblicata sul sito istituzionale dell'Autorità competente, insieme all'avviso pubblico redatto dal Proponente;
 9. Dalla data della pubblicazione del suddetto avviso e per la durata di quarantacinque giorni, il pubblico interessato può presentare osservazioni concernenti la valutazione di impatto ambientale e, ove necessarie, la valutazione di incidenza e l'autorizzazione integrata ambientale;
 10. Entro i successivi trenta giorni l'Autorità competente può chiedere al Proponente eventuali integrazioni assegnando allo stesso un termine non superiore a trenta giorni, che può essere prorogato, per una sola volta, dietro motivata richiesta del Proponente valutata positivamente dall'Autorità competente, per un periodo non superiore a centottanta giorni;
 11. In assenza di deposito della richiesta documentazione integrativa da parte del Proponente, l'istanza si intende ritirata e l'Autorità competente procedere d'ufficio all'archiviazione;
 12. Qualora l'autorità competente motivatamente ritenga che le modifiche o le integrazioni siano sostanziali e rilevanti per il pubblico, dispone, entro quindici giorni dalla ricezione della documentazione integrativa, che il Proponente trasmetta, entro i successivi quindici giorni, un nuovo avviso al pubblico, da pubblicare sul sito istituzionale dell'Autorità competente;
 13. Si apre, quindi una nuova consultazione del pubblico, limitatamente alle modifiche o integrazioni apportate al Progetto e alla relativa documentazione. Per questa consultazione, i termini di cui al precedente punto 9 sono ridotti alla metà. Tuttavia, L'Autorità competente può disporre che questa consultazione del pubblico si svolga con le modalità dell'inchiesta pubblica, come descritto nel prosieguo;
 14. Entro dieci giorni dalla conclusione della consultazione pubblica, oppure dal ricevimento delle eventuali integrazioni documentali, nel caso l'ulteriore consultazione pubblica non sia ritenuta necessaria dall'Autorità competente, quest'ultima convoca una Conferenza dei servizi alla quale partecipano il Proponente e tutte le Amministrazioni competenti o comunque potenzialmente interessate per il rilascio del provvedimento di VIA e dei titoli abilitativi necessari alla realizzazione e all'esercizio del Progetto richiesti dal Proponente;
 15. La Conferenza dei servizi ha a disposizione un tempo massimo di centoventi giorni decorrenti dalla data di convocazione dei lavori;
 16. La determinazione motivata di conclusione della Conferenza dei servizi costituisce il provvedimento autorizzatorio unico e comprende il provvedimento di VIA e i titoli abilitativi rilasciati per la realizzazione e l'esercizio del Progetto, recandone l'indicazione esplicita.

Il passaggio fondamentale nel quale si verifica la validità tecnica e la valenza ambientale del Progetto proposto è la Conferenza dei servizi, ossia il tavolo di discussione al quale partecipano, oltre al Proponente e all'Autorità competente, tutte le altre istituzioni interessate e/o chiamate a partecipare e/o competenti su specifiche autorizzazioni richieste per la realizzazione e l'esercizio dell'opera.

Nel caso della realizzazione di un termovalorizzatore di rifiuti, gli enti coinvolti nella

conferenza dei servizi possono essere più di trenta, ognuno dei quali titolato a esprimere pareri e/o formulare osservazioni, che nella maggior parte dei casi richiedono appropriate controdeduzioni da parte del Proponente. Diversi di tali enti sono altresì titolati a richiedere integrazioni della documentazione progettuale nelle fasi prepedeutica all'insediamento della Conferenza.

La durata complessiva del procedimento può facilmente superare l'anno, considerato che l'attività della Conferenza dei servizi può richiedere sino a centoventi giorni e possono essere concessi oltre sei mesi di tempo al Proponente, dietro motivata richiesta, per predisporre tutte le integrazioni richieste dagli enti coinvolti. I termini temporali qui indicati riflettono le ultime disposizioni in materia, introdotte nel luglio 2020 e che hanno portato a una significativa contrazione dei tempi massimi consentiti.

È facoltà dell'Autorità competente, inoltre, disporre che una o più raccolte di osservazioni del pubblico si realizzino nella forma del dibattito pubblico, come definito dal Dlgs. N. 50 del 2016. Ciò può verosimilmente accadere quando tale dibattito pubblico non sia stato svolto preventivamente e ne sia fatta richiesta da parte del consiglio regionale della Regione territorialmente competente, ovvero dai consigli comunali rappresentativi di almeno cinquantamila residenti nei territori interessati, ovvero da associazioni legalmente riconosciute rappresentative di almeno cinquantamila iscritti.

L'eventuale dibattito pubblico è effettuato con oneri a carico del Proponente e deve impegnare un tempo che complessivamente non può superare novanta giorni. Nel caso si ricorra a tale strumento durante il procedimento autorizzativo è, quindi, fortemente verosimile un'ulteriore dilazione dei tempi complessivi di svolgimento.

Una volta ottenuta l'autorizzazione per la realizzazione e l'esercizio dell'opera è possibile procedere con i bandi per l'assegnazione della progettazione esecutiva e la realizzazione dell'impianto. Tuttavia, essendo l'autorizzazione un atto amministrativo, entro opportuni termini temporali può essere impugnato innanzi al competente Tribunale Amministrativo Regionale (TAR), anche con richieste di sospensione dell'efficacia dell'atto.

Gli eventuali contenziosi amministrativi, aventi a oggetto questa tipologia di autorizzazione, possono richiedere sino ad alcuni anni per giungere al primo grado di giudizio (quello del Tribunale amministrativo), contro il quale è, in ogni caso, possibile ricorrere nuovamente innanzi al Consiglio di Stato. Anche nel caso del secondo grado di giudizio, i tempi sono difficilmente prevedibili e possono anche essere significativi. Infine, in alcune fattispecie, può esservi anche un terzo grado di giudizio mediante ricorso al Presidente della Repubblica contro la decisione del Consiglio di Stato. L'intero percorso della giustizia amministrativa può portare ad attendere svariati anni prima di giungere alla certezza di un'autorizzazione effettivamente esecutiva. In tale periodo, possono cambiare alcuni dei presupposti sulla base dei quali l'autorizzazione era stata concessa, richiedendo il riesame della stessa con il rischio, generando nuovi atti amministrativi, di esposizione a ulteriori ricorsi

BIBLIOGRAFIA

- Allegrini E. et al. (2014). Quantification of the resource recovery potential of municipal solid waste incineration bottom ashes. Waste Management. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.003
- Assocarta (2017). Priorità per gli scarti dal riciclo dei rifiuti urbani differenziati e non solo per i rifiuti solidi non differenziati. Reperibile in: <http://www.assocarta.it/en/6-sala-stampa/comunicati-stampa>.
- ATO-R/Politecnico di Torino (2009) - Verifica di fattibilità di un impianto di trattamento termico dei rifiuti a tecnologia innovativa nella Provincia di Torino - Quaderno 51 - Ingegneria Ambientale.
- ATO-R/Politecnico di Torino (2010) - Valutazione sull'applicabilità dei trattamenti meccanico - biologici nel ciclo integrato dei rifiuti urbani della Provincia di Torino - Quaderno 53 - Ingegneria Ambientale.
- ATS Città Metropolitana di Milano, Unità di Epidemiologia (2019). Valutazione dello stato di salute della popolazione residente nell'area intorno all'inceneritore Silla 2. Reperibile in: <https://www.ats-milano.it/portale/Epidemiologia/Epidemiologia-ambientale>.
- AVA - Alto Vicentino Ambiente (2020). Aggiornamento dell'applicazione modellistica delle ricadute delle emissioni atmosferiche dell'impianto di incenerimento con recupero energetico dei rifiuti di Schio - rapporto finale. DICA - Politecnico di Milano, 11 novembre.
- Berardi D., Valle N. (2018) Economia Circolare: senza impianti vince sempre la discarica, Laboratorio SPL Collana Ambiente, Rifiuti n.111, Dicembre 2018.
- Biganzoli L. et al. (2013). Aluminium recovery vs. hydrogen production as resource recovery options for fine MSWI bottom ash fraction. Waste Management, 33, 1174-1181.
- Born (2018). Mining Incinerator Bottom Ash for heavy Non-Ferrous Metals and Precious Metals. In: Holm, O., Thome-Kozmiesky, E. (Eds.), Removal, Treatment and Utilisation of Waste Incineration Bottom Ash. TK Verlag, Neuruppin Germany, pp. 53-62.
- Boursalas A.C. et al. (2020). Energy recovery in China from solid wastes by the moving grate and circulating fluidized bed technologies. Waste Disposal & Sustainable Energy, 2, 27-36 (2020).
- CIAI - Consorzio Imballaggi Alluminio (2010). Separazione e recupero dei metalli e valorizzazione delle scorie di combustione dei rifiuti solidi urbani. Milano.
- CNR ISAFOM (2016). Studio modellistico di ricaduta delle emissioni del termovalorizzatore di Acerra contestualizzato all'interno della sua realtà territoriale. Reperibile in: <http://ariasana.isafom.cnr.it>.
- Comune di Brescia - Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di elettronica per l'automazione (2012). Studio di Dispersione Atmosferica di Inquinanti Emessi sul Territorio Bresciano - aggiornamento ottobre 2011. Reperibile in: www.va.milnambiente.it/File/Documento/87720.
- Consonni S., Giugliano M., Grosso M. (2005). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste: Part B: emission and cost estimates. Waste Ma-

- nagement, 25, 137-148
- Corepla (2018) "Relazione sulla gestione 2017". Reperibile in: <http://www.corepla.it>
 - Corepla (2019) "Relazione sulla gestione 2018" Reperibile in: <http://www.corepla.it>.
 - De Stefanis P. (2007), Sviluppi tecnologici dei trattamenti termici dei rifiuti, Convegno: Per una gestione sostenibile dei rifiuti: tecnologie a confronto, Bologna, 9 luglio 2007;
 - DICAM, Università di Trento (2017). Valutazione dell'impatto delle emissioni dal termovalorizzatore di Bolzano. Caratterizzazione delle emissioni e della dispersione a supporto di azioni di monitoraggio e di gestione di situazioni critiche. Progetto Landmonitoring, relazione tecnica. Reperibile in <https://www.eco-center.it/it/attivita-servizi/ricerca-993.html>.
 - DIIAR, Politecnico di Milano (2009). SIA per il nuovo termovalorizzatore - analisi dell'impatto sulla qualità dell'aria. Studio condotto per AMSA S.p.A. Reperibile in SILVIA Regione Lombardia, <http://silvia.regione.lombardia.it>, codice VIA898-RL.
 - EEA (2019). European Union emission inventory report 1990-2018. EEA Report 5/2020, European Environmental Agency, Copenhagen (Denmark). Reperibile in <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emission-inventory-report-1990-2017>.
 - EMEP (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Report 13/2019, European Environmental Agency, Copenhagen (Denmark). Reperibile in <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.
 - ENEA (2008). ENEA e le tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti, Workshop 18 giugno 2008, Roma.
 - Estrellan C.R., Lino F. (2010). Toxic emissions from open burning. *Chemosphere* 80, 193-207.
 - European Commission (2019). Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 2010/75/EU Directive on Integrated Pollution Prevention and Control. Report EUR 29971 EN. Reperibile in: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-incineration-0>.
 - Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile - FISE (2019). L'Italia del riciclo 2019. Reperibile in: www.fondazionevilupposostenibile.org.
 - Gabbar H.A., Aboughaly M., Ayoub N. (2018) Comparative study of MSW heat treatment processes and electricity generation, *Journal of Energy Institute*, 91(4), pp. 481 - 488
 - Giugliano M. et al. (2011). Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. *Waste Management* 31, 2092-2101
 - Gullett B. et al. (2008). PCDD/F and aromatic emissions from simulated forest and grassland fires. *Atmospheric Environment* 42, 7997-8006
 - Gullett B. et al. (2010). PCDD/F, PBDD/F and PBDE emissions from open burning of a residential waste dump. *Environ. Sci. Technol.* 44, 394-399.
 - Gullett B., Touati A. (2003). PCDD/F emissions from forest fire simulation. *Atmospheric Environment*, 37, 803-813.
 - Hedman B. et al. (2005). Emissions of Polychlorinated Dibenzodioxins and Dibenzofurans and Polychlorinated Biphenyls from Uncontrolled Burning of Garden and Domestic Waste (Backyard Burning). *Environ. Sci. Technol.* 39, 8790-8796.

- INEMAR (2020). Aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera dell'Emilia-Romagna relativo all'anno 2017 (INEMAR-ER 2017) ARPAE Emilia-Romagna. Reperibile in: https://www.arpae.it/cms3/documenti/aria/Rapporto_finale_inventario_emissioni_2017.pdf.
- INEMAR (2020). Inventario delle emissioni in atmosfera nell'anno 2017 - Lombardia. Reperibile in: <https://inemar.arpalombardia.it/inemar/webdata/main.seam>.
- ISPRA (2018), Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico, Rapporto 280/2018. Reperibile in: http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_280_18_Emissioni_Settore_Elettrico.pdf.
- ISPRA (2019), Rapporto rifiuti speciali, ediz. 2019. Rapporti, 309/2019.
- ISPRA (2019), Rapporto rifiuti urbani, ediz. 2019. Rapporti, 313/2019.
- ISPRA (2019). Banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia. Reperibile in: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>.
- ISPRA (2019). Fattori di emissione medi 2017 per le sorgenti di combustione stazionarie in Italia. Reperibile in: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni>.
- ISPRA (2020). Italian emission inventory 1990 - 2018, informative inventory report 2020. Rapporto 319/2020. Reperibile in: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti>.
- ISPRA (2020). Serie storiche delle emissioni nazionali SNAP 1990-2018. Reperibile in: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni>.
- Lamers F. (2015a). Treatment of Bottom Ashes of Waste-to-Energy Installations - State of the Art. In E. Thomé-Kozmiensky, & S. Thlel, Waste Management, Volume 5 (Vol. 5, Waste-to-Energy, p. 273 - 290). Vivis.
- Lamers F. (2015b). Green Deal: Utilization of Incinerator bottom ashes (IBA) in the Netherlands. ISWA WGER meeting.
- Lindberg D., Molin C., Hupa M. (2015), Thermal treatment of solid residues from WtE units: A review, Waste Management 37, pp. 88 - 94
- Lombardi L., Carnevale E., Corti A. (2015) A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste, Waste Management 37, pp. 26 - 44
- Lonati G. et al. (2019). The actual impact of waste-to-energy plant emissions on air quality: a case study from northern Italy. Detritus 6/2019, 77-84.
- Lonati G. et al. (2020). Organic and inorganic trace pollutants around municipal solid waste incinerators: results from air quality monitoring campaigns in northern Italy. 1st International Conference on Applications of Air Quality in Science and Engineering Purposes, 10-12 febbraio, Kuwait.
- Montejo C. et al. (2013), Mechanical-biological treatment: Performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization. Journal of Environmental Management, 128, 661-673
- Panepinto D., Genon G. (2014) Environmental evaluation of the electric and co-generative configurations for the energy recovery of the Turin municipal solid waste incineration plant, Waste Management & Research 32(7), 670 - 680;
- Panepinto D., Genon G. (2014). Environmental evaluation of the electric and co-generative configurations for the energy recovery of the Turin municipal solid

- waste incineration plant. *Waste Management & Research*, 32(7), 670 – 680.
- Panepinto D., Senor A., Genon G. (2016) Energy recovery from waste incineration: Economic aspects, *Clean Technologies and Environmental Policy* 18(2), pp. 517 – 527
 - Panepinto D., Zanetti MC (2018) Municipal solid waste incineration plant: A multi – step approach to the evaluation of an energy – recovery configuration, *Waste Management* 73, pp. 332 – 341
 - Psaltis P, Komilis D. (2019). Environmental and economic assessment of the use of biodrying before thermal treatment of municipal solid waste. *Waste Management* 83, 95 -103
 - Ragossnig AM, Wartha C. and Pomperger R. (2009) Climate impact analysis of waste treatment scenarios – thermal treatment of commercial and pretreated waste versus landfilling in Austria, *Waste Management & Research* 27, 914 – 921.
 - Solorzano-Ochoa G. et al. (2012). Open burning of household waste: effect of experimental condition on combustion quality and emission of PCDD, PCDF and PCB. *Chemosphere* 87, 1003-1008.
 - TRM (2019). Reperibile in: <http://trm.to.it/>.
 - UNEP (2013). Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases and other unintentional POPs. 2013 edition, UNEP Chemicals, Geneva (Switzerland).
 - UNEP (2014). Sand, rarer than one thinks. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8665>
 - UTILITALIA (2019). Rapporto sul recupero energetico da rifiuti in Italia. Reperibile in: <https://www.utilitalia.it/dms/file/open?5e78deb5-9dee-46df-b7ab-01b91dea4007>
 - Vicente E.D., Alves C.A. (2018). An overview of particulate emissions from residential biomass combustion. *Atmospheric Research* 199, 159-185.
 - Wiedinmyer C. et al. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. *Environ. Sci. Technol.* 48, 9523–9530.
 - Zhang M. et al. (2015). Dioxins and polyvinylchloride in combustion and fires. *Waste Management & Research*, 33(7), 630 – 643.



Termovalorizzatore - GERBIDO

Indagini epidemiologiche
condotte in Italia e all'estero
nelle aree interessate
dalla presenza di inceneritori
e pubblicazioni sul tema
in riviste scientifiche:
rassegna commentata

Andrea Magrini

Dipartimento di Biomedicina e Prevenzione

Francesco Lombardi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica

Roma, settembre 2020

1. RASSEGNA COMMENTATA DI STUDI EPIDEMIOLOGICI

Fondamento dei principi generali in tema di tutela dell'ambiente, adottati sulla base degli articoli 2, 3, 9, 32, 41, 42 e 44, 117 commi 1 e 3 della Costituzione e nel rispetto degli obblighi internazionali e del diritto comunitario, sono la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

Ogni attività umana giuridicamente rilevante deve conformarsi al principio dello sviluppo sostenibile, al fine di garantire che il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non possa compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future.

In tale contesto va inquadrata la doverosa valutazione anche dello stato di salute della popolazione esposta a fattori di rischio derivanti da impianti di incenerimento, senza dimenticare che, a livello comunitario e a livello nazionale, l'incenerimento dei rifiuti trova riscontro tra le tecniche che rispondono ai criteri di quelle migliori disponibili (best available techniques - BAT). Pertanto, questa tecnica risponde alla *“più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione e delle altre condizioni di autorizzazione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso”*. È considerata una BAT in quanto, tra l'altro, come riconosciuto nel documento di riferimento sulle BAT o 'BREF' pubblicato dalla Commissione europea, adotta *“le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso”*.

I fattori di pressione e contaminazione che interessano tutte le matrici ambientali, provengono da una grande varietà di attività e hanno conseguenze molteplici sull'ambiente e sulle popolazioni che vivono e lavorano in queste aree. Le conseguenze sulla salute sono inoltre mediate da fattori sociali ed economici, che aggiungono complessità e rendono difficile conoscere e descrivere come la salute e la qualità della vita siano influenzate, in positivo e in negativo, dalla concomitanza di queste attività. Tutti questi fattori possono comportare, in misura molto variabile, forti pressioni ambientali e importanti fattori di rischio con esposizioni multiple di tipo residenziale, professionale e paraoccupazionale.

Molto spesso accade che, in simili contesti in cui può essere presente tra le attività in questione anche quella di un inceneritore per rifiuti, si tende ad attribuire all'incenerimento dei rifiuti il ruolo in negativo preponderante sulla salute della popolazione ivi residente.

In questa sintetica nota si vuole affrontare la problematica dal punto di vista tecnico scientifico in base alle sole rilevanze bibliografiche degli ultimi 20 anni, in particolare per quanto riguarda gli studi sugli effetti epidemiologici nelle aree interessate dalla presenza di inceneritori, in Italia e all'estero (tutti gli studi sono reperibili sul sito www.utilitalia.it).

Inoltre si vogliono evidenziare anche le azioni intraprese su impianti entrati in funzione di recente e finalizzate alla Sorveglianza sulla salute della Popolazione in vicinanza dei termovalorizzatori, con l'obiettivo generale di monitorare costantemente e valutare periodicamente i potenziali effetti avversi sulla salute dovuti all'eventuale inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore, attraverso l'interazione e la condivisione di dati sia di esercizio e sia di monitoraggio (ambientale e sanitario) tra i gestori, i controllori istituzionali (ad esempio ASL, ARPA, ISS, ecc.) e le comunità coinvolte.

1.1 Articolo "REF 1"

Nella pubblicazione (**REF 1**) della National Academies of Sciences Engineering Medicine degli Stati Uniti d'America, intitolata "Waste Incineration and Public Health (**anno 2000**, ISBN 978-0-309-06371-5, DOI 10.17226/5803, PDF su <http://nap.edu/5803>), viene dedicato uno specifico capitolo (5 - UNDERSTANDING HEALTH EFFECTS OF INCINERATION) sugli effetti dell'incenerimento dei rifiuti sulla salute umana. La pubblicazione è stata redatta dal Comitato sugli effetti sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti per valutare le relazioni tra salute umana e incenerimento di rifiuti pericolosi, rifiuti solidi urbani e rifiuti sanitari istituito dal National Research Council (NRC). In questo rapporto, il comitato spiega i risultati e le raccomandazioni sull'incenerimento dei rifiuti e la salute pubblica. Nelle conclusioni del capitolo 5, si evidenziano in particolare le seguenti considerazioni/deduzioni:

"Estimates of large increments in ambient concentrations of various pollutants attributable to existing incinerators, particularly heavy metals and dioxins and furans, led to legitimate concerns about potential health effects".

"On the basis of available data, a well-designed and properly operated incineration facility emits relatively small amounts of those pollutants, contributes little to ambient concentrations, and so is not expected to pose a substantial health risk".

"Epidemiologic studies assessing whether adverse effects actually occurred at individual incinerators have been few and were mostly unable to detect any effects. That result is not surprising, given the small populations available to study; the presence of effect modifiers and potentially confounding factors (such as other exposures and risks in the same communities); the long periods that might be necessary for health effects to be manifested; and the low concentrations (and small increments in background concentrations) of the pollutants of concern. Although such results could mean that adverse health effects are not present, they could also mean that the effects may not be detectable using feasible methods and available data sources".

Da ciò si evince come tra gli inquinanti attribuibili agli inceneritori esistenti (quindi realizzati e in esercizio ben prima del 2000), metalli pesanti, diossine e furani, avvalorano le preoccupazioni sui potenziali effetti sulla salute. In base agli studi disponibili, già a quell'epoca, un impianto di incenerimento ben progettato e correttamente gestito emetteva quantità relativamente modeste di tali inquinanti e contribuiva in maniera non significativa alle concentrazioni immesse nell'ambiente non compor-

tando, in questi casi, un rischio sostanziale per la salute. Sugli studi all'epoca condotti, però, erano sollevati dubbi sulla efficacia degli stessi per valutare gli effetti epidemiologici collaterali in relazione al numero degli studi condotti, al tempo d'indagine, alle metodiche utilizzate. Tutto ciò ha portato a concludere che, sebbene quasi tutti i risultati degli studi condotti non evidenziassero dirette conseguenze negative sulla salute, rimanevano concreti dubbi sul fatto che gli effetti dannosi sulla salute dell'uomo potessero non essere stati rilevati, stante l'inefficacia dei metodi all'epoca utilizzati.

1.2 Articolo "REF 2"

Nell'articolo (**REF 2**) "Health Effects of Waste Incineration: A Review of Epidemiologic Studies" (Suh-Woan Hu & Carl M. Shy, **anno 2001**, pubblicato su Journal of the Air & Waste Management Association, 51:7, 1100-1109, DOI: 10.1080/10473289.2001.10464324), è riportata una review di alcune ricerche epidemiologiche sul potenziale impatto sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti.

Nell'articolo si rilevano in particolare le seguenti considerazioni/deduzioni:

"In conclusion, these epidemiologic studies consistently observed higher body levels of some organic chemicals and heavy metals, and no effects on respiratory symptoms or pulmonary function. The findings for cancer and reproductive outcomes were inconsistent. More hypothesis testing epidemiologic studies are needed to investigate the potential health effects of waste incineration on incinerator workers and community residents".

"The studies of health effects of waste incineration among community residents showed some similar and some inconsistent results. First, the results for reproductive effects were conflicting". "Second, the findings for cancer risk were inconsistent". "Third, prevalence of several respiratory symptoms was not significantly related to living in an area with a waste incinerator in both studies reviewed".

"The exposure sources are not similar for workers and residents of communities with incinerators".

Per i lavoratori presso gli impianti d'incenerimento, gli autori evidenziano quanto segue:

"The studies of incinerator workers consistently showed higher frequency of urinary mutagens and promutagens and increased blood levels of certain organic compounds and some heavy metals".

"The findings for lung cancer mortality were conflicting—significantly increased in one study, but decreased in another study".

Gli studi presi a riferimento dagli autori della review hanno mostrato risultati simili e statisticamente non significativi ai fini epidemiologici, sia per quanto riguarda gli effetti sulla riproduttività sia per il rischio cancerogeno. Anche l'insorgere di diversi sintomi respiratori sono stati valutati non significativi.

Leggermente differente è il quadro che si delineerebbe per i lavoratori in questi im-

pianti, peraltro tutti risalenti per realizzazione ed esercizio agli anni 80 e 90 del secolo XX, sebbene per una effettiva concreta sarebbero stati necessari maggiori approfondimenti, sia metodologici sia di indagine. Per questi lavoratori, le evidenze che hanno portato a queste valutazioni erano date dal riscontro di composti chimici organici e metalli pesanti accumulati a livello corporeo nei lavoratori a livelli più elevati di quelli riscontrabili in un soggetto normale. Anche per questa evidenza, alcuni studi hanno mostrato associazioni tra effetti epidemiologici e incenerimento dei rifiuti (per gli impianti più obsoleti e mal gestiti dell'epoca), ma altrettanti studi non hanno fatto riscontrare effetti significativi in tal senso. Pertanto, i risultati sono stati, in generale, valutati incoerenti tra loro e quindi non probanti le ipotizzate evidenze. Gli autori concludevano lo studio evidenziando la necessità di condurre ulteriori studi epidemiologici di verifica approfondendo l'esame dei casi incoerenti, per studiare i potenziali effetti sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti sui lavoratori degli inceneritori e sui residenti in comunità.

1.3 Articolo “REF 3”

Nel documento (**REF 3**) “Sorveglianza ambientale e sanitaria in aree prossime ad inceneritori: indicazioni emerse dal Progetto europeo ENHance Health” (anno 2007, Er-spamer L. et al., Sorveglianza ambientale e sanitaria in aree prossime ad inceneritori: indicazioni emerse dal Progetto europeo ENHance Health. Roma: Istituto Superiore di Sanità, Rapporti ISTISAN 07/41), viene esplicitato un approccio metodologico finalizzato a stabilire temi e modalità per attività di conoscenza mirati alla sorveglianza e alla prevenzione degli effetti ambientali e sanitari nelle aree interessate.

Come spiegato dagli autori nell'introduzione, tale esigenza nasce dalle problematiche legate alla pianificazione, monitoraggio e valutazione delle aree interessate dalla presenza di inceneritori, che sono spesso realtà eterogenee e complesse.

Infatti, “i fattori di pressione e contaminazione riguardano tutte le matrici ambientali, provengono da una grande varietà di attività e hanno conseguenze molteplici sull'ambiente e sulle popolazioni che vivono e lavorano in queste aree. Le conseguenze sulla salute, che interessano questo contributo, sono inoltre mediate da fattori sociali ed economici, che aggiungono complessità e rendono difficile conoscere e descrivere come la salute e la qualità della vita siano influenzate, in positivo e in negativo, dall'insieme di determinanti presenti”.

“Numerosi sono gli studi epidemiologici effettuati per valutare l'impatto sulla salute degli inceneritori di rifiuti, molto eterogenei nel metodo e nei risultati. Spesso il confronto fra le diverse ricerche risulta difficile, se non impossibile, a causa delle differenze dovute al contesto geografico, alle popolazioni prese in esame, alle diverse tipologie di impianti o di rifiuti considerati”.

“Inoltre, tali studi epidemiologici spesso non consentono di dimostrare un rapporto causa effetto univoco dei fattori di rischio ambientali legati al ciclo dei rifiuti proprio perché nelle aree coinvolte operano numerosi fattori di pressione ambientale e criticità riferibili a fattori socioeconomici”.

“Pertanto questo complesso scenario implica un delicato problema di comunicazione

e sottolinea la necessità di applicare interventi efficaci, alcuni dei quali sono già implementati a livello sanitario”.

“A tal fine, sembra importante attivare sistemi di monitoraggio integrati dello stato di salute e dei fattori di esposizione”.

Il documento mette in risalto la necessità fondamentale di individuare un approccio metodologico che consenta poi di poter correttamente valutare e confrontare tra loro i vari studi.

1.4 Articolo “REF 4”

Nella pubblicazione (**REF 4**) della Regione Emilia-Romagna “Gli effetti degli inceneritori sulla salute. Studi epidemiologici sulla popolazione in Emilia-Romagna” (**anno 2012**, Quaderni di Monitor, 06>12) sono riportati i risultati riguardanti una serie di indagini intese a chiarire gli effetti ambientali e sanitari degli inceneritori di rifiuti urbani presenti in regione. Sono cinque le linee di intervento tecnico-scientifico: indagini sulle emissioni in atmosfera degli impianti, indagini sulle ricadute e sugli effetti ambientali, individuazione della popolazione esposta nel corso degli scorsi decenni agli inceneritori e indagine epidemiologica sulla loro salute (230.000 persone, circa il 5% della popolazione regionale), ricerche di laboratorio sugli effetti tossici delle emissioni dagli impianti.

I risultati delle attività presentati sono stati condivisi nella metodologia, nelle procedure e negli esiti dal Comitato scientifico (“*nucleo di saggi*”), costituito da scienziati e specialisti estranei alla progettazione e svolgimento della ricerca e privi di alcun interesse confliggente con il ruolo di garanti loro attribuito.

Nella pubblicazione, si dà riscontro dei seguenti obiettivi e delle conseguenti conclusioni:

1. *“Valutare la possibile associazione tra l'esposizione a inquinanti emessi dagli inceneritori di RSU e i seguenti eventi della gravidanza: rapporto tra sessi alla nascita (sex ratio - SexR), nascite gemellari (multiple births - MB), nascite pretermine (pre-term births - PTB), piccoli per età gestazionale (small for gestational age - SGA) e basso peso alla nascita nei nati a termine (low birth weight - LBW)”.*

“Per nessuno degli esiti considerati si rilevano differenze significative tra le aree in studio e le medie regionali. Tuttavia, considerando l'occorrenza di ogni esito all'interno delle aree in relazione ai livelli di esposizione, si manifestano risultati diversificati. L'esposizione a inceneritore non mostra alcun effetto sul rapporto tra sessi, sulle nascite gemellari, sul basso peso alla nascita. L'esito piccoli per età gestazionale, non esplorato in alcun studio precedente, mostra un trend debolmente significativo per livelli crescenti di esposizione, senza tuttavia che i livelli più elevati presentino un'occorrenza dell'esito significativamente più alta del livello di riferimento. Lo studio ha invece rilevato una associazione coerente e statisticamente significativa tra livelli di esposizione ad emissioni da inceneritore e nascite pretermine. I risultati di questo lavoro devono essere inseriti nel complesso di conoscenze preesistenti e contribuiscono al complessivo processo di ri-

conoscimento delle potenzialità nocive di un agente/esposizione, ovvero alla costruzione di un livello di evidenza progressivamente meno incerto. I risultati dello studio contribuiscono alla valutazione della componente salute nella visione complessiva delle politiche di gestione dei rifiuti. Un ulteriore contributo al miglioramento delle conoscenze verrà dalla continuazione dello studio su un periodo più recente, che consentirà anche di valutare se i cambiamenti impiantistici nel frattempo intercorsi abbiano comportato una modifica nelle stime modellistiche dell'esposizione e negli esiti qui segnalati".

2. "Analizzare l'occorrenza di aborto spontaneo nelle donne di età 15-49 anni residenti in un'area di 4 km di raggio da 7 inceneritori di RSU presenti in Emilia-Romagna nel periodo 2002-2006, utilizzando indicatori appropriati".

"Lo studio suggerisce una associazione tra esposizione a inceneritore e abortività spontanea. I risultati appaiono coerenti con l'osservazione di un incremento di nascite pretermine associate all'esposizione a inceneritore, già osservata nell'ambito del Progetto Monitor. È plausibile infatti l'ipotesi che aborti spontanei e nascite pretermine condividano alcuni fattori causali in grado di determinare l'interruzione intempestiva della gravidanza, precocemente (aborto spontaneo) o più tardivamente (nascite pretermine)".

3. "Valutare se la prevalenza di nati malformati, diagnosticati nel primo anno di vita, è significativamente associata con l'esposizione agli inquinanti emessi dagli inceneritori".

"I deboli segnali emersi non forniscono elementi probanti per l'attribuzione di un nesso causale tra malformazioni ed esposizione agli inquinanti emessi dagli inceneritori e suggerisce analisi su casistiche più numerose. Lo studio ha fornito importanti indicazioni dei percorsi da attivare per migliorare l'efficacia degli strumenti di rilevazione delle malformazioni, requisito fondamentale per consentire una sorveglianza e studi epidemiologici più avanzati".

4. "Valutare la mortalità naturale e per alcune cause di morte nonché l'incidenza dei tumori maligni in relazione alla esposizione alle emissioni degli inceneritori per rifiuti solidi urbani presenti in Emilia-Romagna da più tempo".

"Gli effetti a lungo termine dell'esposizione alle emissioni di inceneritori per rifiuti solidi urbani sono oggetto di numerosi studi, i cui risultati sono stati recentemente analizzati da due revisioni, che hanno considerato rispettivamente gli studi relativi a ogni esito ovvero solo a esiti di mortalità. Per nessun esito considerato sono state prodotte evidenze certe di rapporto causale con l'esposizione a inceneritori per rifiuti solidi urbani, ma esistono evidenze limitate di associazione per i sarcomi dei tessuti molli, i linfomi non Hodgkin, e, tra i tumori solidi, quelli di stomaco, colon-retto, fegato e polmone. Per le cause non tumorali, nessuna di esse presenta nemmeno evidenze limitate, ma vi sono solo isolate segnalazioni di eccessi per le malattie respiratorie, acute e croniche. Nel complesso, lo studio non ha messo in evidenza una coerente associazione tra livelli di esposizione e mortalità o incidenza di tumori. Alcune sedi tumorali, colon nelle donne e linfoma non Hodgkin, per le quali esisteva già una debole evidenza a priori, sono risultate associate con l'esposizione in studio nella coorte di Modena, pur con diversa forza dell'associazione. Il tumore del fegato, anch'esso già segnalato in letteratura, è risultato variamente associato con l'esposizione nelle diverse coorti indagate. Infine per il tumore del pancreas, non esplorato in altri studi,

è stata osservata nei maschi un'associazione con l'esposizione nella coorte maggiore. Queste associazioni, di cui non è possibile valutare il rapporto di causalità con l'esposizione a inceneritori per rifiuti solidi urbani, rappresentano gli unici indizi sulla possibile cancerogenicità delle emissioni da inceneritori”.

1.5 Articolo “REF 5”

Nel documento (**REF 5**) “Waste and human health: Evidence and needs” (anno 2015, WHO Meeting Report, World Health Organization, Regional Office for Europe), come spiegato nell’abstract introduttivo, si prende spunto dalle preoccupazioni sui possibili impatti sulla salute della circolazione, della gestione e dello smaltimento dei rifiuti, in particolare in relazione a pratiche informali e tecnologie obsolete e si ripropone di valutare le prove scientifiche disponibili sugli effetti sulla salute legati ai rifiuti che sebbene non sono conclusive, suggeriscono il possibile verificarsi di gravi effetti avversi, tra cui mortalità, cancro, salute riproduttiva ed effetti più lievi che incidono sul benessere. Nel documento, un paragrafo è dedicato all’incenerimento di rifiuti urbani (pagg. 16 e 17) e uno specifico sottoparagrafo è dedicato agli effetti sulla salute (pag. 17), che di seguito si riporta integralmente.

“As stated above, emissions from incinerators have been much changing over time. This entails changing health impacts, and it is difficult to formulate overall considerations on the health effects. Available evidence is therefore specific to the period of investigation and to the different types of incinerator analysed (old generation versus new generation plants). On the other hand, the improvement in exposure assessment methods mentioned above can help summarize the health risks.

*Papers dealing with the health effects of incinerators active in the years **1969–1996** consistently report a detectable risk of some cancers in the populations living nearby, through high quality studies, as reported in different reviews. Quantitative estimates of excess risks of specific cancers in populations living near solid waste incinerator plants were provided for all cancers, stomach, colon, liver, and lung cancer. Other studies performed in Italy, France and the United Kingdom indicate some suggestive but not consistent results for non-Hodgkin lymphomas and soft tissue sarcomas.*

The majority of these studies concerned old generation incinerators, characterized by high emission levels. The emissions of modern incinerators which have been investigated are different in quantity and composition, as a result of modern abatement techniques. For this reason the results of all available studies cannot be compared, and consistency across studies is not expected.

Congenital anomalies were also investigated by several studies. Particular attention has been given to the excess risk for urinary tract defects by a well-designed study in France, which confirmed previous observations on an increased risk from exposure to solid waste incinerator emissions in early pregnancy. Results from other studies on the same outcomes are inconsistent.

Recent work in Italy found associations between birth outcomes (preterm birth and spontaneous abortion) in relation to increased level of exposure to incinerators. These findings are in line with work done in Taiwan.

Results on chronic or acute respiratory effects in children or adults, were inconclusive, although recent literature reports new evidence on this outcome”.

Il documento evidenzia come le emissioni degli inceneritori sono cambiate molto nel tempo. Ciò comporta un cambiamento degli impatti sulla salute ed è difficile formulare considerazioni generali sugli effetti sulla salute considerando anche il differente periodo di riferimento dell'indagine e i diversi tipi di inceneritori analizzati (impianti di vecchia generazione contro impianti di nuova generazione).

I documenti che trattano degli effetti sulla salute degli **inceneritori attivi nel periodo 1969-1996**, quindi ben lontani dalle norme tecniche regolamentate dalle BAT sia in termini di tecnologie che in termini di gestione, riportano costantemente un rischio rilevabile di alcuni tumori (stomaco, colon, fegato e polmoni) nelle popolazioni che vivono nelle vicinanze. Non coerenti sono risultati gli studi che evidenziano l'insorgenza di linfomi non-Hodgkin e di sarcomi dei tessuti molli.

La maggior parte di questi studi riguardava quindi inceneritori di vecchia generazione, caratterizzati da elevati livelli di emissione. Le emissioni dei moderni inceneritori sono ben diverse sia per quantità che per composizione, grazie alle moderne tecniche. Per questo motivo i risultati di tutti gli studi disponibili non possono essere confrontati e non è prevista la coerenza tra gli studi, soprattutto per quanto riguarda il regresso su cui è impossibile intervenire sia in termini metodologici sia in termini di implementazione del numero di osservazioni necessarie.

Per gli impianti più recenti, come potenziali criticità emerse, che necessitano però di conferma statistica del dato, vengono segnalati l'aumento del rischio derivante dall'esposizione alle emissioni di inceneritori di rifiuti solidi nelle prime fasi della gravidanza (studio ben condotto in Francia nel 2010), l'associazione tra nascita pretermine e aborto spontaneo e l'aumento del livello di esposizione agli inceneritori (studi condotti in Italia, 2013). I risultati sugli effetti respiratori cronici o acuti nei bambini o negli adulti sono stati valutati poco significativi (studio condotto in Italia, 2014).

1.6 Articolo “REF 6”

Nell'articolo (**REF 6**) “Studio epidemiologico di coorte residenziale su mortalità e ricoveri ospedalieri nell'area intorno all'inceneritore di San Zeno, Arezzo” (**anno 2016**, Fabrizio Minichilli et al., Epidemiologia e prevenzione, DOI: 10.19191/EP16.1.P033.012) gli autori valutano i rischi di mortalità e di ospedalizzazione in funzione dei livelli di inquinamento atmosferico di un inceneritore di rifiuti urbani attivo dal 2000, localizzato in un'area del Comune di Arezzo caratterizzata anche da altre sorgenti di inquinamento. Come affermato dagli stessi autori:

- l'inceneritore utilizza le BAT di ultima generazione è situato in un'area caratterizzata dalla presenza di numerose fonti di inquinamento sia puntuali sia lineari, con impatti anche sovrapponibili che rendono complessa la valutazione degli effetti sulla salute;
- la definizione dell'esposizione è stata basata sulla sola matrice aria (via inalatoria) e non ha preso in considerazione le altre vie di contaminazione; occorre, infatti, ricordare che l'esposizione può verificarsi anche attraverso le matrici acqua, suolo e alimenti.

- limite metodologico dello studio è la mancanza di dati individuali sui potenziali fattori di confondimento quali le condizioni socioeconomiche, l'esposizione professionale, lo stile di vita dei soggetti (abitudine al fumo, consumo di alcol, attività fisica) e la dieta.

Gli autori pervengono comunque alle seguenti conclusioni di cui si riporta un estratto:

“Sebbene i risultati del presente studio non delineino particolari criticità per la popolazione residente nelle aree intorno all'inceneritore, emergono segnali di criticità a carico delle cause di morte e di ricovero per malattie cardiovascolari e respiratorie per le quali esiste un'elevata plausibilità di associazione eziologica con l'inquinamento atmosferico. Anche in considerazione della presenza delle altre fonti di inquinamento considerate, è auspicabile un sistema di sorveglianza che tenga conto dei risultati conseguiti.

In questa considerazione si deve tener conto che l'inquinamento atmosferico non è ricondotto al solo inceneritore ma a tutta l'area a elevata industrializzazione e produttiva in cui è stato condotto lo studio in questione e in cui non è stato indagato ed approfondito l'eventuale contributo e/o effetto dell'inceneritore rispetto al resto. Le stesse considerazioni valgono anche per quanto di seguito riportato.

“Il segnale di eccesso di rischio di mortalità per leucemie, sebbene non significativo, ha bisogno di conferma, anche tenendo conto dell'eterogeneità tra tipologie eziopatogenetiche diverse. Il numero molto ridotto di decessi e ricoveri per linfoma non Hodgkin sconsiglia congetture sui rischi osservati, così come per il rischio inferiore a 1 osservato per la mortalità per malattie dell'apparato urinario. L'eccesso di ricoveri ospedalieri osservato per malattie dell'apparato urinario per entrambi i generi non è supportato da evidenze epidemiologiche ed è da approfondire, sia valutando la distribuzione per causa specifica e per età, sia effettuando studi ad hoc in grado di stimare le associazioni con fattori ambientali e individuali, seppure occorra tener presente la ridotta numerosità”.

1.7 Articolo “REF 7”

Nel documento (**REF 7**) “Adverse reproductive outcomes associated with exposure to a municipal solid waste incinerator” (**anno 2016**, Santoro M. et al., Ann. Ist. Sup. Sanità 2016, Vol. 52, No. 4: 576-581, DOI: 10.4415/ANN_16_04_19) gli autori indagano l'associazione tra l'esposizione a una inceneritore per rifiuti urbani e vari esiti riproduttivi (nascita prematura, basso peso alla nascita, piccolo per età gestazionale e rapporto sessuale), considerando anche la presenza di altre fonti di inquinamento (impianti industriali, autostrade, strade principali ad alto flusso di traffico) e prendendo in considerazione anche alcuni fattori materni, compreso lo stato socioeconomico. Si evidenziano in particolare le seguenti valutazioni e considerazioni espresse dagli autori nella discussione e conclusioni:

“The study area presents an overall complex environmental framework and the over-

lap of the different sources of air pollution could lead to a misclassification of the individual exposure”.

“The study detected a slight association between exposure at MSWI and preterm births. The results are in agreement with those of a previous multi-site study with similar design, and they strengthen the recommendation to consider gestational age in studies and surveillance in areas with MSWIs and similar sources of pollution”.

In definitiva, lo studio ha rilevato una non significativa associazione tra esposizione all'incenerimento di rifiuti urbani e nascite pretermine. I risultati sono in accordo con quelli di precedenti studio multi-sito con un'impostazione dello studio simile.

1.8 Articolo “REF 8”

Nell'articolo (**REF 8**) “Adverse pregnancy outcomes in women with changing patterns of exposure to the emissions of a municipal waste incinerator” (**anno 2018**, Vinceti M. et. al., *Environmental Research* 164 444–451, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.024>), sono stati esaminati negli anni dal 2003 al 2013, i tassi di aborto spontaneo e difetti di nascita tra le donne che risiedevano o erano impiegate in prossimità dell'impianto di inceneritore di rifiuti solidi urbani ubicato nella città di Modena. Nel 2009, un progressivo arresto delle vecchie linee di incenerimento e il funzionamento di una nuova linea hanno causato un rilascio atmosferico più elevato di idrocarburi policiclici aromatici e di diossine, a causa di momentanee condizioni operative irregolari.

Di seguito si riportano alcuni estratti del lavoro:

“In the present study, we examined rates of miscarriage and birth defects among women who resided or were employed in the vicinity of a municipal solid waste incinerator plant in the town of Modena, from 2003 to 2013. In 2009, a progressive shutdown of the old incineration lines and operation of a new line caused considerably higher atmospheric release of polycyclic aromatic hydrocarbons, particularly of dioxins, due to these irregular operating conditions, technological renovation, and increased capacity”.

“Concerning birth defects in the offspring of women residing in the exposed area, no evidence of increased risk emerged, since the prevalence ratio at birth was 0.64 (95% CI 0.29–1.26), with comparable results in the 2003–2008 and 2010–2013 period. Corresponding analyses carried out in municipal residents who worked in the exposed area confirmed these findings. We also did not detect abnormally high rates of miscarriage and birth defects in the exposed cohorts in the single year 2009”.

“Overall, these results do not suggest an effect of exposure to the emissions of the municipal solid waste incinerator we investigated on two indicators of reproductive health. However, the limited statistical stability of the estimates and the absence of individual-based information on some potential confounders suggest caution in the interpretation of study findings”

Gli autori, quindi rilevano quanto segue. Per quanto riguarda i difetti alla nascita nella

prole delle donne residenti nell'area esposta, non è emersa alcuna evidenza di aumento del rischio, con risultati comparabili nei periodi 2003-2008 e 2010-2013. Le analisi corrispondenti condotte sia sui residenti all'area esposta che sui lavoratori presso l'impianto hanno confermato questi risultati. Inoltre, non sono stati rilevati tassi anormalmente elevati di aborto spontaneo e difetti alla nascita nelle coorti* esposte nel singolo anno 2009.

In conclusione, i risultati pubblicati, in base ai due indicatori di salute riproduttiva studiati, non evidenziano un effetto dell'esposizione alle emissioni dell'inceneritore di rifiuti solidi urbani. Gli autori evidenziano però la limitata stabilità statistica delle stime e l'assenza di informazioni individuali su alcuni potenziali fattori di confondimento riscontrate nei dati rilevati.

1.9 Articolo "REF 9"

Nel Report finale (**REF 9**) "Studio epidemiologico per valutare gli effetti sulla salute dei soggetti residenti intorno all'inceneritore di Valmadrera" (**anno 2018**, Università di Torino¹, Agenzia di Tutela della Salute (ATS) della Brianza², Tecno habitat - Società di ingegneria³, a cura di Cristiano Piccinelli¹, Paolo Carnà¹, Emanuele Amodio², Magda Rognoni², Marco Vuono³, Luca Cavaliere d'Oro²) è riportato lo studio epidemiologico per valutare lo stato di salute dei propri cittadini che è stato commissionato dal Comune di Valmadrera e ha coinvolto anche i comuni (Annone Brianza, Civate, Galbiate, Lecco, Malgrate, Suello e Valmadrera) più prossimi all'impianto di incenerimento di Rifiuti Urbani di Valmadrera gestito da Silea Spa, in accoglimento delle richieste avanzate dalla popolazione e dal mondo dell'associazionismo sulla percezione di preoccupanti effetti sulla salute di un simile impianto. Lo studio ha visto la collaborazione tra l'Agenzia per la Tutela della Salute (ATS) della Brianza, il Centro di Epidemiologia dell'Università di Torino e la società Tecno habitat che ha realizzato il modello di dispersione delle emissioni dell'impianto nell'area in studio. Lo studio è basato sulla storia residenziale della popolazione residente nell'area e sui dati di salute di tale popolazione dal 1/01/2003 al 31/12/2015.

Per valutare potenziali effetti sulla salute sono state utilizzate le informazioni in possesso dell'ATS della Brianza, titolare dei dati sullo stato di salute della popolazione nel territorio di propria competenza. L'ATS della Brianza ha fornito, opportunamente anonimizzate, le seguenti informazioni sullo stato in vita e sullo stato di salute della coorte storica, elaborando i seguenti flussi informativi: - Stato in vita della popolazione nella coorte (NAR) - Cause di decesso (Registro Nominativo delle Cause di Morte dell'ATS della Brianza) - Morbosità per cause (Schede di Dimissione Ospedaliera - SDO) - Incidenza di patologie tumorali (Registro Tumori dell'ATS della Brianza) - Certificati di assistenza al parto (Cedap).

I risultati dello studio non evidenziano effetti sulla salute per le patologie associate all'esposizione a emissioni di inceneritori, quali linfomi non-Hodgkin, sarcomi dei tessuti molli, malattie cardiovascolari e respiratorie. Sono stati riscontrati alcuni eccessi

* Coorte: insieme di individui, facenti parte di una popolazione comunque predefinita, caratterizzati dall'aver sperimentato uno stesso evento in un periodo predefinito.

presenti nella popolazione residente nell'area, che riguardano tuttavia malattie la cui plausibilità di associazione eziologica con l'inquinamento derivante dall'impianto di incenerimento è molto limitata, come nel caso dei tumori del fegato, o inesistente, come nel caso dei tumori della pleura. Inoltre, per quanto concerne la salute neonatale, considerata di grande importanza perché interessa un momento del ciclo vitale che ha un peso enorme sulla salute e nello sviluppo dell'individuo, non sono state riscontrate differenze tra i residenti in aree a diverso livello di esposizione.

In conclusione, i risultati fanno riscontrare l'assenza di una relazione chiara e ben caratterizzabile tra residenza in aree a differente ricaduta di inquinanti emessi dall'impianto di incenerimento situato nel comune di Valmadrera e l'insorgenza di patologie ad essa correlabili. In questi territori, l'eccezione riscontrata ha riguardato i tumori del fegato e vie biliari, il cui eccesso in residenti nelle aree a più elevata ricaduta delle emissioni merita un approfondimento per quanto riguarda le possibili cause, stante, a livello scientifico, la molto limitata plausibilità di associazione eziologica di queste malattie con l'inquinamento derivante dall'impianto di incenerimento.

1.10 Articolo "REF 10"

Nell'articolo (**REF 10**) "Environmental and health risks related to waste incineration" (**anno 2019**, de Titto E. e Savino A., Waste Management & Research, DOI: 10.1177/0734242X19859700) gli autori presentano una mini "review" sui risultati pubblicati della ricerca incentrata sulla comprensione degli impatti ambientali e degli effetti sulla salute umana degli impianti di incenerimento dei rifiuti.

Di seguito si riportano alcuni estratti del lavoro:

"We found no studies indicating that modern-technology waste incineration plants, which comply with the legislation on emissions, are a cancer risk factor or have adverse effects on reproduction or development".

"There are several factors in favor of this affirmation: (a) the emission levels of the plants currently built in the developed countries are several orders of magnitude lower than those of the plants in whose environments epidemiological studies have been carried out and which have found some kind of negative association in terms of health; (b) risk assessment studies indicate that most of the exposure is produced through the diet and not by a direct route; and (c) monitoring dioxin level studies in the population resident in the environment of incineration plants did not reveal increases of these levels when compared with a population living in reference areas".

"A necessary condition for the development of a waste incineration plant is to generate the conditions to prevent any impact that activates or potentially carries damage or risks to the environment and, in particular, to health. This makes it imperative to use a preventive strategy through the implementation of a previous environmental impact assessment and the establishment of emissions standards and an emissions monitoring program in order to ensure the prevention of environmental damage".

Nel lavoro presentato gli autori evidenziano che, per gli impianti di incenerimento dei rifiuti con tecnologia moderna, conformi alla legislazione sulle emissioni, non

hanno trovato studi che individuino gli inceneritori di rifiuti come fattori di rischio di cancro o di effetti negativi sulla riproduzione o sullo sviluppo umano.

A supporto di queste conclusioni adducono i seguenti fattori:

- i livelli di emissione degli impianti di ultima generazione nei paesi sviluppati sono di molti ordini di grandezza inferiori rispetto a quelli di impianti operanti in territori in cui studi epidemiologici condotti hanno individuato associazioni negative in termini di salute;
- studi sulla valutazione del rischio indicano che la maggior parte dell'esposizione è prodotta attraverso la dieta e non attraverso una via diretta quale quella emissiva;
- il rilievo dei livelli di diossina riscontrabili nella popolazione residente in ambienti prossimi agli impianti di incenerimento non ha evidenziato livelli superiori rispetto a quelli riscontrabili in una popolazione che vive in aree non interessate da questi impianti.

1.11 Articolo “REF 11”

Nel documento (**REF 11**) *“IL TERMOVALORIZZATORE DI TORINO HA UN IMPATTO SULLA SALUTE? I risultati del Programma SPoTT a tre anni dall'avvio dell'impianto”*, viene evidenziato il ruolo e l'attività svolta nell'ambito del programma SPoTT (Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino) avviata nel 2013 ed avente per obiettivo la creazione di un sistema di sorveglianza che consentisse di valutare gli effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore di Torino. Il gruppo di lavoro costituito di questo programma è composto dalle più importanti istituzioni pubbliche competenti con l'impegno di decine di tecnici e specialisti qualificati, affiancati anche da centri di ricerca e università. SPoTT, ha inteso sviluppare ed attuare uno dei più ampi e completi programmi di sorveglianza sui possibili effetti sulla salute degli inceneritori di rifiuti solidi urbani, affiancando *“linee di monitoraggio epidemiologico ad uno studio di biomonitoraggio, coinvolgendo più categorie di soggetti (residenti, allevatori, lavoratori dell'impianto), confrontando i dati nello spazio e nel tempo. I protocolli di indagine, la fattibilità delle diverse azioni, l'adeguatezza delle risorse e delle tecnologie impegnate, sono stati continuamente discussi e condivisi nella metodologia, nelle procedure e negli esiti dal Comitato Tecnico Scientifico. I risultati sono stati validati dalla comunità scientifica attraverso il processo di revisione fra pari attivato prima della **pubblicazione degli 8 articoli ad oggi disponibili su riviste scientifiche nazionali e internazionali**. SPoTT fornisce importanti elementi per i cittadini e le istituzioni di Torino e della sua cintura ma, grazie al rigore scientifico con cui è stato condotto, contribuisce più in generale a migliorare le conoscenze in tema di inceneritori e salute”*. SPoTT ha *“posto grande attenzione ad informare tempestivamente tutti gli interessati a saperne di più, utilizzando molteplici strumenti comunicativi: un sito web regolarmente aggiornato (www.dors.it/spott); report e sintesi dei risultati non appena disponibili; video, conferenze e comunicati stampa; presentazioni pubbliche e ai tavoli istituzionali. In questo documento SPoTT mette a disposizione una sintesi di tutti i risultati prodotti in sette anni di attività”*.

Allo stato attuale sono state attivate le azioni di:

- *“biomonitoraggio per verificare come variassero nel tempo le quantità di alcuni inquinanti su un gruppo di abitanti in un’area interessata maggiormente dalla ricaduta delle emissioni (quelli più vicini all’impianto)”.*
- *“monitoraggio degli effetti a breve termine sulla salute” con “l’obiettivo di valutare gli eventuali effetti a breve termine che l’inceneritore di rifiuti solidi urbani di Torino ha sulla salute della popolazione residente nei Comuni limitrofi all’impianto e potenzialmente più interessata dalle sue emissioni;*
- *“monitoraggio su effetti a lungo termine sulla salute. Le popolazioni che vivono nelle aree vicine agli impianti di incenerimento di rifiuti solidi urbani” dai dati presenti in letteratura “sono state oggetto di numerosi studi”. “Ad oggi, la comunità scientifica internazionale concorda sul fatto che gli impianti di vecchia generazione siano stati causa di alcuni tumori (fegato, stomaco, colon retto, polmone, linfomi non Hodgkin, sarcomi dei tessuti molli), di nascita di neonati con anomalie congenite (in particolare malformazioni del tratto urinario) e di nascite pretermine. Alla luce di queste informazioni, SPoTT ha deciso di occuparsi di questo tipo di patologie caratterizzate da lunghi tempi di latenza tra l’esposizione e l’insorgenza della malattia. Lo studio sugli effetti a lungo termine, quindi, analizzerà i ricoveri e la mortalità dal 2003 al 2022 (10 anni prima e 10 anni dopo l’accensione dell’impianto)”;*
- *“monitoraggio dei lavoratori dell’impianto” ... “attraverso una raccolta continua di informazioni lavorative e di salute (mansioni e turni svolti, referti del medico competente, infortuni e malattie professionali) che hanno permesso di conoscere e seguire nel tempo la coorte di lavoratori. In modo analogo con quanto fatto sui residenti, anche i dipendenti del gestore dell’impianto sono stati invitati a partecipare allo studio di biomonitoraggio. Il biomonitoraggio è stato ripetuto nel tempo eseguendo il primo prelievo al momento dell’assunzione e i successivi dopo 1 e 3 anni di lavoro. Parallelamente al biomonitoraggio (nel 2013, 2014, 2016, 2017) sono state eseguite alcune campagne di monitoraggio ambientale in diversi locali in cui operano i lavoratori”;*
- *“monitoraggio degli allevatori prossimi all’impianto. Le attività di biomonitoraggio previste per i residenti sono state proposte a tutti gli allevatori che gestiscono le aziende situate in un’area di 5 km dall’inceneritore.*

Per quanto riguarda le conclusioni dei risultati finora conseguiti, si riscontra come:

- *l’ultima rilevazione di biomonitoraggio sulla popolazione residente, condotta nel 2016, ha mostrato quanto segue. “I valori di metalli rilevati sono paragonabili, o inferiori, a quelli riscontrati in altri studi analoghi nazionali ed internazionali. Nel tempo, si è osservata complessivamente una riduzione nei valori dei metalli” riscontrabili a livello ematico. “Tale diminuzione risulta maggiore tra le persone residenti vicino l’impianto. I risultati suggeriscono che le variazioni di metalli nel sangue e nelle urine riscontrati nella popolazione residente campionata non sono associati all’attività dell’impianto. I residenti più vicini all’impianto e i residenti più lontani dall’area di ricaduta degli inquinanti hanno, nel 2016, valori simili di PCDD, PCDF e PCB. Dopo tre anni dall’accensione dell’impianto si è misurata una generale*

diminuzione dei livelli di PCDD, PCDF, e PCB. La significativa riduzione di queste sostanze inquinanti nella popolazione residente è in linea con la documentata diminuzione negli anni dei livelli di diossine e PCB nell'ambiente e nei cibi, probabile risultato di politiche europee volte a mettere limiti sempre più restrittivi, in particolar modo sull'utilizzo di diossine e furani. Dopo tre anni di funzionamento del termovalorizzatore gli OH-IPA sono inferiori rispetto a quelli misurati prima dell'avvio dell'impianto. Le variazioni di OH-IPA osservate non sembrano quindi legate all'attività dell'impianto.

- *l'ultima rilevazione di biomonitoraggio sui lavoratori in impianto, per quanto riguarda la concentrazioni di metalli a livello ematico ha mostrato come "i valori riscontrati sono inferiori ai valori limite di esposizione. Le concentrazioni della maggior parte dei metalli sono diminuite nel tempo. ... I valori di manganese, platino e antimonio, metalli per i quali è stato misurato un leggero aumento nel tempo, sono simili o inferiori a quelli riscontrati in altri studi internazionali analoghi. ... Le differenze riscontrate nel 2016 nei valori di OH-IPA tra i lavoratori sulle linee e i lavoratori che svolgono attività "d'ufficio" non sembrano essere legate a cause lavorative. Dopo tre anni di lavoro presso l'impianto, i livelli di OH-IPA riscontrati nei lavoratori sono stabili o in diminuzione. ... I monitoraggi ambientali all'interno dell'impianto hanno mostrato, nella maggior parte dei locali, presenza di metalli sotto i limiti misurabili dagli strumenti, confermando l'assenza di un'esposizione professionale a questi inquinanti. ... Grazie ad alcune migliorie, anche le concentrazioni degli IPA, inizialmente più elevate in alcune aree dell'impianto, dopo tre anni di funzionamento si sono ridotte. ... I livelli di diossine, furani e PCB, dopo 3 anni di funzionamento, sono simili o inferiori a quelli misurati all'avvio dell'impianto.*
- *l'ultima rilevazione di biomonitoraggio, per quanto riguarda la concentrazioni di potenziali sostanze pericolose a livello ematico ha mostrato come "i risultati della rilevazione dei metalli nel gruppo di allevatori sono in linea con quelli ottenuti nel gruppo dei residenti, per tutti i tipi di inquinanti monitorati, nonostante il numero dei soggetti sia limitato. Gli IPA, pur mostrando lo stesso andamento che si registra nella popolazione generale, mostrano negli allevatori valori generalmente più alti, probabilmente a causa di una maggiore abitudine al fumo in questo gruppo. Diossine e PCB, come già evidenziato nel prelievo effettuato prima dell'avvio dell'impianto, seppur in generale diminuzione, hanno comunque valori più alti rispetto alla popolazione residente.*

Il Programma SPoTT ha contribuito, con i suoi risultati, ad un aumento della conoscenza sugli effetti sulla salute di un impianto di incenerimento di rifiuti. I suoi risultati tuttavia non hanno avuto una risonanza solo a livello locale come dimostrano i diversi articoli scientifici pubblicate su riviste internazionali del settore, che vengono di seguito elencate:

- a) Bena A, Oreggia M, Farina E, Chiusolo M, Alimonti A, Bocca B, Cadum E, De Felip E, Iamiceli AL, Pino A, Procopio E, Salamina G per il gruppo di lavoro SPoTT. **Bio-monitoring and exposure assessment of the general population living near an Italian incinerator: methodology of SPoTT study.** Environmental Monitoring and Assessment (2016) 188(11), 1-11. DOI 10.1007/s10661-016-5624-5;

- b) Bena A, Chiusolo M, Oreggia M, Cadum E, Farina E, Musmeci L, Procopio E, Salamina G e il gruppo di lavoro SPoTT. **Sorveglianza sulla Salute della popolazione nei pressi del termovalorizzatore di Torino (SPoTT): presentazione del programma di sorveglianza.** Epidemiologia e Prevenzione (2016) 40(5):366-73;
- c) Bocca B, Bena A, Pino A, D'Aversa J, Oreggia M, Farina E, Salamina G, Procopio E, Chiusolo M, Gandini M, Cadum E, Musmeci L, Alimonti A. **Human biomonitoring of metals in adults living near a waste-to-energy incinerator in ante-operam phase: focus on reference values and health-based assessments.** Environ Res 148(2016)338-350;
- d) Bena A, Gandini M, Cadum E, Procopio E, Salamina G, Oreggia M, Farina E **Percezione del rischio nella popolazione residente nei pressi del termovalorizzatore di Torino: risultati ante-operam e strategie comunicative.** BMC Public Health (2019) 19:483 <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6808->
- e) Ruggeri F, Alimonti A, Bena A, Pino A, Oreggia M, Farina E, Salamina G, Procopio E, Gandini M, Cadum E, Bocca B. **Human biomonitoring health surveillance for metals near a waste-to-energy incinerator: the 1-year post-operam study.** Chemosphere (2019) 225: 839-48. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.03.041
- f) Bena A, Oreggia M, Farina E. 2019. **Inceneritore di Torino: storia in 5 atti di un rapporto difficile.** Epidemiol Prev (2019); 43 (5-6):322-327.
- g) Iamiceli AL, Abate V, Abballe A, Bena A, De Filippa S. P, Silvia De Luca, Fulgenzi A. R, Iacovella N, Ingelido A.M, Marra V, Miniero R, Farina E, Gandini M, Oreggia M, De Felip E. **Biomonitoring of the adult population in the area of Turin waste incinerator: baseline levels of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites.** Environmental Research 181 (2020) 108903
- h) Bena A, Oreggia M, Gandini M, Bocca B, Ruggeri F, Pino A, Alimonti A, Ghione F, Farina E, **Human biomonitoring of metals in workers at the waste-to-energy incinerator of Turin: an Italian longitudinal study** International Journal of Hygiene and Environmental Health 225(2020) 113454 <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113454>

Il Gruppo di Lavoro SPoTT, in accordo con il Comitato Tecnico Scientifico, ha deciso di invitare i cittadini, già coinvolti nello studio di biomonitoraggio, ad un ulteriore prelievo, programmato nel 2020, per misurare nuovamente tutti gli inquinanti già monitorati in passato.

A gennaio 2020 è stato avviato SPoTT-2, la seconda fase del Programma SPoTT - Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino. Le attività previste da SPoTT-2 si svolgeranno nel periodo 2020 - 2023 e si articoleranno in 10 linee progettuali.

il Programma SPoTT-2 prevede di informare tempestivamente tutti coloro che sono interessati a saperne di più, mettendo a disposizione della popolazione, della rete sanitaria locale, del mondo dell'associazionismo, degli enti pubblici locali, provinciali e regionali tutto il materiale prodotto (risultati non appena disponibili, resoconti delle riunioni del Comitato Tecnico Scientifico, protocolli operativi delle diverse linee progettuali, bibliografia utilizzata per le scelte metodologiche, ecc.)

1.12 Conclusioni

La doverosa e corretta valutazione dello stato di salute della popolazione esposta a fattori di rischio derivanti da impianti di incenerimento deve essere fatta tenendo conto anche dell'evoluzione storica delle tecniche, intese come tecnologie disponibili ed adottate e modalità di gestione attuate e/o regolamentate, a cui questo trattamento è legato e pertanto all'epoca di riferimento degli studi e delle valutazioni condotte.

Di tutto ciò le vigenti norme, sia a livello comunitario sia a livello nazionale, ne tengono pienamente conto attraverso la regolamentazione cogente e d'indirizzo sull'incenerimento dei rifiuti che trova particolare riscontro nell'introduzione delle migliori tecniche disponibili (best available techniques - BAT). I documenti BREF di settore esplicitano, in continuo aggiornamento con l'evoluzione tecnica, come queste tecniche rispondano alla *“più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione e delle altre condizioni di autorizzazione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso”*. È considerata una BAT in quanto, tra l'altro, come riconosciuto nel documento di riferimento sulle BAT o 'BREF' pubblicato dalla Commissione europea, adotta *“le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso”*.

I fattori di pressione e contaminazione che interessano tutte le matrici ambientali provengono da una grande varietà di attività e hanno conseguenze molteplici sull'ambiente e sulle popolazioni che vivono e lavorano in queste aree. Le conseguenze sulla salute sono inoltre mediate da fattori sociali ed economici, che aggiungono complessità e rendono difficile conoscere e descrivere come la salute e la qualità della vita siano influenzate, in positivo e in negativo, dalla concomitanza di queste attività. Tutti questi fattori possono comportare, in misura molto variabile, forti pressioni ambientali e importanti fattori di rischio con esposizioni multiple di tipo residenziale, professionale e paraoccupazionale.

Molto spesso accade che, in simili contesti in cui può essere presente tra le attività in questione anche quella di un inceneritore per rifiuti, si tende ad attribuire all'incenerimento dei rifiuti il ruolo in negativo preponderante sulla salute della popolazione ivi residente.

È scientificamente riconosciuto che, le preoccupazioni sui potenziali effetti sulla salute degli inceneritori riconducibili ad inquinanti potenzialmente presenti nelle emissioni quali metalli pesanti, diossine e furani, sono da ricondurre ad **impianti di vecchia generazione e a tecniche di gestione utilizzate prima della seconda metà degli anni 1990**. La maggior parte degli studi condotti in periodi di riferimento **antercedenti il 1996**, riguardano anche inceneritori di vecchia generazione, qualcuno mal gestito e pertanto in alcuni casi caratterizzati da elevati livelli di emissione.

Come evidenziato dal WHO, i documenti che trattano degli effetti sulla salute degli inceneritori attivi nel periodo **1969-1996** riportano costantemente un rischio rilevabile di alcuni tumori (stomaco, colon, fegato e polmoni) nelle popolazioni che vivono nelle vicinanze. Non coerenti sono risultati gli studi che evidenziano l'insorgenza di linfomi non-Hodgkin e di sarcomi dei tessuti molli.

Sempre in base al WHO, le emissioni degli inceneritori sono cambiate molto nel

tempo. Ciò ha comportato un cambiamento degli impatti sulla salute, ed è difficile formulare considerazioni generali sugli effetti sulla salute, se non si prendono in considerazione i differenti periodi di riferimento dell'indagine e i diversi tipi di inceneritori analizzati (impianti di vecchia generazione contro impianti di nuova generazione). Le emissioni dei moderni inceneritori sono ben diverse sia per quantità che per composizione, grazie alle moderne tecniche.

In base agli studi disponibili, in generale, un impianto di incenerimento ben progettato e correttamente gestito, soprattutto se di recente concezione (dagli anni 2000 in poi) emette quantità relativamente modeste di inquinanti e contribuisce poco alle concentrazioni ambientali e, pertanto, non si ha evidenza che comporti un rischio reale e sostanziale per la salute.

Un'altra problematica emersa dalla valutazione degli studi accreditati condotti, soprattutto prima del 2010 e riferiti ad impianti realizzati e gestiti prima della fine degli anni '90 del XX secolo, è che sussistono dubbi sulla efficacia per valutare gli effetti epidemiologici collaterali in relazione al numero degli studi condotti, al tempo d'indagine alle metodiche utilizzate. Tale evidenza ha sensibilizzato il mondo scientifico e sanitario sulla necessità fondamentale di individuare un approccio metodologico che consenta poi di poter correttamente valutare e confrontare tra loro i vari studi, che è stato per lo più adottato in studi successivi che caratterizzano i lavori d'indagine su inceneritori di nuova generazione.

Si deve inoltre considerare anche il ruolo e l'attività svolta da diversi impianti di nuova generazione attualmente in esercizio in Europa (ad esempio l'impianto di Copenhill di Copenhagen in Danimarca) ed in Italia (ad esempio l'impianto di Gerdibo, Torino) con la creazione di un sistema di sorveglianza che consentisse di valutare gli effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore, che non ha uguali in altri impianti di attività produttive.

In definitiva, gli studi più recenti sono quelli più idonei a dar riscontro all'effettivo impatto che gli inceneritori attualmente in esercizio hanno sulla salute dell'uomo e sull'ambiente e pertanto avvalorano le conclusioni in base alle quali, per gli impianti rispondenti alle BAT, conformi alla legislazione sull'incenerimento dei rifiuti e di conseguenza anche ai prestabiliti limiti alle emissioni, non si riscontrano fattori di rischio di cancro o di effetti negativi sulla riproduzione o sullo sviluppo umano, come peraltro testimoniato e confermato anche da un recente studio pubblicato in Gran Bretagna nel 2019 (REF 12).. A supporto di queste conclusioni contribuiscono i seguenti fattori:

- i livelli di emissione degli impianti di ultima generazione nei paesi sviluppati sono di molti ordini di grandezza inferiori rispetto a quelli di impianti operanti in territori in cui studi epidemiologici condotti hanno individuato associazioni negative in termini di salute;
- studi sulla valutazione del rischio indicano che la maggior parte dell'esposizione è prodotta attraverso la dieta e non attraverso una via diretta quale quella emissiva;
- il rilievo dei livelli di diossina riscontrabili nella popolazione residente in ambienti prossimi agli impianti di incenerimento non ha evidenziato livelli superiori rispetto a quelli riscontrabili in una popolazione che vive in aree non interessate da questi impianti.

2. BIBLIOGRAFIA

- REF 1 National Accademies of Sciences Engineering Medicine degli Stati Uniti d'America (2000): "Waste Incineration and Public Health" ISBN 978-0-309-06371-5, DOI 10.17226/5803.
- REF 2 Suh-Woan Hu & Carl M. Shy (2001): "Health Effects of Waste Incineration: A Review of Epidemiologic Studies", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 51:7, 1100-1109, DOI: 10.1080/10473289.2001.10464324.
- REF 3 Erspamer L. et al. (2007): "Sorveglianza ambientale e sanitaria in aree prossime ad inceneritori: indicazioni emerse dal Progetto europeo ENHance Health". Roma: Istituto Superiore di Sanità, Rapporti ISTISAN 07/41.
- REF 4 Regione Emilia Romagna (2012): "Gli effetti degli inceneritori sulla salute. Studi epidemiologici sulla popolazione in Emilia-Romagna", *Quaderni di Monitor*, 06>12.
- REF 5 WHO Meeting Report (2015): "Waste and human health: Evidence and needs", World Health Organization, Regional Office for Europe.
- REF 6 Fabrizio Minichilli et al. (2016): "Studio epidemiologico di coorte residenziale su mortalità e ricoveri ospedalieri nell'area intorno all'inceneritore di San Zeno, Arezzo", *Epidemiologia e prevenzione*, DOI: 10.19191/EP16.1.P033.012.
- REF 7 Santoro M. et al. (2016), *Ann. Ist. Sup. Sanità* 2016, Vol. 52, No. 4: 576-581, DOI: 10.4415/ANN_16_04_19.
- REF 8 Vinceti M. et. al. (2018) "Adverse pregnancy outcomes in women with changing patterns of exposure to the emissions of a municipal waste incinerator", *Environmental Research* 164 444-451, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.024>.
- REF 9 2018 "Studio epidemiologico per valutare gli effetti sulla salute dei soggetti residenti intorno all'inceneritore di Valmadrera" (Università di Torino¹, Agenzia di Tutela della Salute (ATS) della Brianza², Tecno habitat - Società di ingegneria³, a cura di Cristiano Piccinelli¹, Paolo Carnà¹, Emanuele Amadio², Magda Rognoni², Marco Vuono³, Luca Cavalieri d'Oro².
- REF 10 De Titto E. e Savino A. (2019): "Environmental and health risks related to waste incineration", *Waste Management & Research*, DOI: 10.1177/0734242X19859700.
- REF 11 Bena A., Oreggia M., (2020): "IL TERMOVALORIZZATORE DI TORINO HA UN IMPATTO SULLA SALUTE? I risultati del Programma SPOTT a tre anni dall'avvio dell'impianto", <https://www.dors.it/alleg/spott/202002/200217%20Report%20Spott.pdf>
- REF 12 Rebecca E. Ghosha, Anna Freni-Sterrantinoa, Philippa Douglassa, Brandon Parkesa, Daniela Fecht, Kees de Hooghe, Gary Fullerg, John Gulliverd, Anna Fontg, Rachel B. Smithd, Marta Blangiardod, Paul Elliotta, Mireille B. Toledano, Anna L. Hansella (2019): "Fetal growth, stillbirth, infant mortality and other birth outcomes near UK municipal waste incinerators; retrospec-

tive population based cohort and case-control study". HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/journal/01604120>" *Environment International*, HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/journal/01604120/122/supp/C>" *Volume 122, January 2019, Pages 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.060>.*



UTILITALIA

Federazione delle imprese
ambientali, energetiche ed idriche

www.utilitalia.it