



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di laurea magistrale in

Rischio Ambientale e Protezione Civile

**Analisi della sostenibilità ambientale di diversi sistemi di
gestione di rifiuti prodotti in ospedali da campo**

**Analyses of the environmental sustainability of different waste
management systems produced in field hospital**

Tesi di laurea magistrale di:

Eleonora Zavoli

Relatore:

Prof.ssa Alessia Amato

Correlatore:

Prof. Mario Caroli

Correlatore:

Prof.ssa Susanna Balducci

**Sessione autunnale
Anno Accademico 2022/2023**

Indice	Pag.
Introduzione	4
Capitolo 1 Gli ospedali da campo	
<i>1.1 L'ospedale da campo: applicazioni e problematiche</i>	10
<i>1.2 Categorie di rifiuti prodotte da un ospedale da campo</i>	
1.2.1 <i>Inquadramento normativo italiano ed europeo</i>	25
1.2.2 <i>Il problema dei rifiuti in emergenza</i>	28
1.2.3 <i>Rifiuti provenienti da un'emergenza</i>	29
1.2.4 <i>Gestione dei rifiuti in emergenza e relativi impatti</i>	32
1.2.5 <i>Rifiuti di un ospedale da campo</i>	35
<i>1.3 Stato dell'arte della gestione dei rifiuti provenienti da ospedali da campo</i>	42
<i>1.4 Metodi di trattamento dei rifiuti</i>	
1.4.1 <i>Pretrattamenti</i>	50
1.4.2 <i>Trattamenti termici</i>	51
1.4.2.1 <i>Convenzione di Stoccolma</i>	58
1.4.3 <i>Trattamenti chimici e disinfezione</i>	60
Capitolo 2 Lo studio di sostenibilità ambientale con metodo LCA	
<i>2.1 Metodo Life Cycle Assessment</i>	67

<i>2.2 Metodo LCA applicato alla gestione dei rifiuti</i>	71
Capitolo 3 Scopo della tesi	74
Capitolo 4 Materiali e metodi	
<i>4.1 Scelte tecnologiche</i>	76
<i>4.2 Software e metodi</i>	91
Capitolo 5 Analisi di sostenibilità ambientale	
<i>5.1 Definizione dell'unità funzionale e dei confini del sistema</i>	92
<i>5.2 Life Cycle Inventory (LCI)</i>	94
<i>5.3 Risultati e discussione</i>	
<i>5.3.1 Classificazione e caratterizzazione</i>	100
<i>5.3.2 Normalizzazione e pesatura</i>	113
<i>5.4 Interpretazione dei risultati</i>	117
Conclusioni	119
Bibliografia	121

INTRODUZIONE

L'uomo, fin dalle sue origini, ha dovuto affrontare le emergenze e soprattutto gestirle. Inizialmente si trattava di eventi naturali come alluvioni, terremoti, eruzioni vulcaniche. L'obiettivo era contenere gli effetti degli eventi poi, con il passare del tempo, si aggiunse anche la tutela di ciò che aveva realizzato e costruito come villaggi, attrezzature, campi per le coltivazioni. A queste tipologie di emergenze, in tempi moderni, si è aggiunta la gestione di eventi che derivano dalle attività antropiche come gli incidenti rilevanti di impianti industriali a rischio oppure pericoli naturali come terremoti o inondazioni che minano la sicurezza e il funzionamento di impianti pericolosi (NaTech- Natural Hazards Triggering Technological Accidents; D. Gill et al.,2018). Negli ultimi decenni, a livello mondiale, sono stati registrati aumenti significativi nella frequenza di disastri naturali e/o dovuti ad attività antropiche; le conseguenze sono stati ingenti costi sanitari, sociali ed economici (EM-DAT). Le ragioni possono essere ricondotte all'inquinamento prodotto dalle attività umane, le cui ripercussioni principali sarebbero il riscaldamento globale e il buco dell'ozono, giusto per citare quelli che sono familiari a tutti, tecnici e non. Le cause che innescano i disastri possono essere anche altre, così come molteplici sono le tipologie degli eventi capaci di causare gravi danni. I fenomeni come terremoti ed eruzioni vulcaniche seguono tempi di ritorno geologici, misurati in termini

di centinaia, migliaia o milioni di anni, mentre le mutazioni climatiche sono influenzate principalmente da variabili astronomiche le quali seguono trend secolari. Tutti questi elementi concorrono a determinare le condizioni per un disastro, ma non ne sono responsabili: non sono gli eventi che causano il disastro bensì la loro interazione con l'ambiente antropizzato. Infatti come affermò il sismologo Richter *“è vero che i fattori naturali (sismicità, aree vulcaniche, ecc.) concorrono a determinare le condizioni ma non ne sono responsabili. Infatti non sono i terremoti che uccidono le persone, bensì gli edifici mentre cadono, e situazioni analoghe si verificano pure per altri tipi di eventi”*. E d'altro canto se con i fenomeni naturali possiamo fare “affidamento” ai parametri sopra citati, per quel che riguarda gli eventi di tipo antropico possiamo fare affidamento al rispetto delle tecniche costruttive e impiantistiche e alle procedure di sicurezza in fase di esercizio e post- operativa. Studiando la dinamica con cui si verificano tali eventi, è stato dimostrato che con una migliore gestione dei disastri è possibile ridurre l'impatto sulla salute, sull'ambiente e anche a livello economico, sebbene non sia possibile ridurre l'entità (Quarantelli, 1993).

Questa tesi si concentra sulla tipologia di rifiuti che deriva da questi eventi, naturali e non, i quali, se in grandi quantità, possono influenzare anche le attività di risposta e di recupero in fase emergenziale (ad esempio, i rifiuti o

detriti possono impedire ai soccorritori e ai servizi di emergenza di raggiungere i sopravvissuti). Tra le varie tipologie di rifiuti prodotti a seguito di un disastro, l'attenzione si focalizza sulla gestione dei rifiuti provenienti da un ospedale da campo quando un evento disastroso colpisce una comunità. Si tratta di rifiuti sanitari e rifiuti di tipo generico. I rifiuti sanitari sono tra i più pericolosi; possono contenere microorganismi pericolosi, patogeni, droghe, comportare un rischio radiologico. I rifiuti sanitari possono portare all'infezione del personale sanitario a causa della presenza di oggetti taglienti (Safe Management of Wastes from Health-Care Activities, WHO- 2014). Proprio in merito a questa problematica, l'OMS stima che l'iniezione con siringhe contaminate provochi 21 milioni di infezioni da epatite B, 2 milioni da epatite C e 260.000 infezioni da HIV. Motivo per cui il loro smaltimento rappresenta una problematica molto seria (WHO, 1999). Alcune stime, provenienti da studi condotti circa la produzione di rifiuti dagli ospedali, dimostrano che in media vengono prodotti circa 0.5 kg di rifiuti per letto di ospedale al giorno. Questa quantità varia a seconda del paese in cui si trova la struttura sanitaria, dalle condizioni sociali ed economiche. I paesi industrializzati generano più rifiuti e la plastica rappresenta più della metà dei rifiuti sanitari. Anche la gestione dei rifiuti avverrà in maniera diversa se ci troviamo in un paese in via di sviluppo oppure industrializzato (M. Habibur Rahman, 1999). I paesi in via di sviluppo

generano meno rifiuti rispetto a quelli sviluppati ma si trovano ad affrontare seri problemi con la salute umana e con l'ambiente perché non hanno una raccolta regolamentata dei rifiuti e sistemi di smaltimento adeguati (H.G. Mazzei et al., 2023).

In un paese in via di sviluppo le difficoltà sono legate:

1. al degrado ambientale;
2. alle condizioni igienico-sanitarie gravi per la popolazione che è costretta a vivere in quel contesto;
3. all'assetto politico, molto spesso instabile o inesistente.



Figura 1: Situazione rifiuti Haiti

Tra i paesi in via di sviluppo, ad esempio in Kirghistan, le persone rovistano tra i rifiuti presenti nelle discariche e gli stessi gestori dei rifiuti, sono a rischio lesioni dovute a punture di aghi e all'esposizione di materiali tossici e infettivi. È molto importante la fase della gestione e del trattamento dei rifiuti soprattutto se si tratta di rifiuti sanitari. Quando finiscono in discarica non devono rappresentare un pericolo per la salute umana e per l'ambiente. Le modalità di smaltimento dei rifiuti si diversificano a seconda della tipologia di rifiuto sanitario e/o generico che stiamo trattando. Prendendo sempre come esempio in Kirghistan, negli anni il processo di separazione dei rifiuti è stato rivisto, non viene più applicata la disinfezione con cloro tossico e la plastica invece di essere inviata in discarica viene mandata al riciclaggio.

I rifiuti sanitari devono essere smaltiti in maniera responsabile. Al fine di ridurre i rischi di infezione umana, la diffusione delle infezioni e l'insorgere di epidemie è importante separare e smaltire correttamente i rifiuti sanitari. A questo scopo, i trattamenti sicuramente presi in considerazione sono l'incenerimento e il co-incenerimento: in entrambi i casi si tratta di impianti che utilizzano come combustibile i rifiuti (CDR), con l'obiettivo di eliminare il rifiuto. Attraverso il co-incenerimento si ottiene un ulteriore vantaggio che è la produzione di energia con il calore prodotto dalla loro combustione. Esistono

inceneritori portatili per far fronte alla gestione in emergenza dei rifiuti soprattutto in paesi in via di sviluppo, ma su questo tipo di trattamento l'OMS ha dubbi circa le emissioni provenienti da tale pratica. Detto ciò, lo scopo di questa tesi è capire se è possibile evitare l'incenerimento e puntare a forme diverse del trattamento dei rifiuti. Si procede ad analizzare quali sono le tipologie di rifiuto prodotte in un ospedale da campo e come attualmente vengono gestite. Il riferimento sono le informazioni presenti nella letteratura scientifica, con la consapevolezza che potrebbero esserci pochi dati circa la tipologia e i quantitativi. Si applica lo studio di sostenibilità ambientale a questa problematica e si procede all'analisi di sostenibilità ambientale al fine di valutare se le alternative prese in considerazione siano migliori in termini ambientali rispetto all'incenerimento.

Capitolo 1

GLI OSPEDALI DA CAMPO

1.1 L'ospedale da campo: applicazioni e problematiche

L'ospedale da campo non rappresenta una novità: si tratta di una struttura presente da sempre durante le guerre che hanno caratterizzato la storia dell'uomo. La maggior parte dei documenti rispetto all'installazione degli ospedali da campo risalgono dai tempi della prima guerra mondiale fino ai giorni nostri. In realtà è con le campagne napoleoniche del XVIII secolo che il chirurgo Dominique Jean Larrey creò ambulanze chirurgiche per portare soccorso ai feriti in prossimità dei campi di battaglia. Attraverso gli ospedali da campo è possibile portare un primo aiuto alle persone coinvolte in battaglie, calamità naturali e antropiche (International Paramedic day). Primo aiuto che può concretizzarsi anche in interventi chirurgici o necessità di terapia intensiva ma più spesso in una stabilizzazione prima di essere trasferiti in ospedali operativi in zone più o meno vicine alla zona dell'evento.

Ma la storia recente ci dice che un ospedale da campo può essere installato anche in presenza di epidemie o pandemie come quella da Sars- Cov- 2. In Italia gli ospedali da campo sono stati installati ad esempio a Crema, Piacenza, Bergamo durante le prime fasi della pandemia e in corrispondenza del

lockdown, più altri ospedali da campo dislocati per tutta la penisola (Ministero della Difesa, 2020). Alcuni di questi, sono poi diventati centri vaccinali: come l'ospedale da campo di Termoli (Croce Rossa Italiana, 11 marzo 2021).



Figura 2: Ospedale da campo Militare (Covid), Jesi

Un altro esempio di ospedale da campo in Italia è quello che è stato allestito in soli tre giorni a Perugia per supportare l'ospedale cittadino in una fase delicata per sopperire alla mancanza di posti letto (Regione Umbria, 12 novembre 2020), per il controllo delle infezioni e per la carenza di personale. Uno degli obiettivi principali era proprio quello di non far entrare il virus all'interno dei reparti di degenza ospedalieri cittadini e nelle sale operatorie per evitare il contagio dei pazienti e degli stessi operatori sanitari.



Figura 3: Ospedale da campo militare Jesi

Stessa cosa è avvenuta in altre zone del mondo come l'ospedale da campo installato a Central Park (New York) oppure quello installato nel campo da calcio Pacaembu in Brasile. Senza dimenticare Wuhan (Cina) da cui ha avuto inizio la pandemia, dove è stato installato nell'immediatezza un ospedale da campo EMT3 e costruito in tempi record un ospedale in muratura (Covid Hospital).

Dopo questa prima parte introduttiva, di seguito alcune informazioni tecniche circa gli ospedali da campo, i quali fanno parte delle strutture sanitarie campali che si dividono in:

- PMA di I livello

- PMA di II livello
- PMA di II livello chirurgico
- Ospedali da campo.

Posto Medico Avanzato

L'acronimo PMA sta per Posto Medico Avanzato.

Viene definito PMA nella GU 12/5/2001 *“dispositivo funzionale di selezione e trattamento sanitario delle vittime gestito dalla centrale operativa 118 attraverso personale ordinariamente abituato a praticare sul campo terapie rianimatorie e viene utilizzato per il tempo necessario alla stabilizzazione dei feriti gravi prima del loro trasferimento in ospedale”*.

È bene sottolineare che al recupero dei feriti, deve seguire il loro trasporto a un unico luogo di cura, per evitare le cosiddette “evacuazioni selvagge”, cioè i trasporti verso l'ospedale di pazienti sfuggiti ad un controllo medico ed effettuati con mezzi inadeguati. Il PMA rappresenta un centro di triage e di cura ossia il punto di concentrazione medicalizzata delle vittime recuperate. Non è altro che un “filtro” che è tale, però, se caratterizzato da tempestività di intervento, logistica, dotazione di presidi, farmaci e attrezzature sanitarie adeguate.

Inoltre viene attivato a seconda del tipo di calamità che ha colpito una certa

popolazione: evento che ha interessato solo una certa località piuttosto che aver interessato più comuni/province fino ad avere un'estensione di interesse nazionale (es. terremoto dell'Aquila). Anche i tempi di attivazione cambiano: entro un'ora per il PMA di I livello, entro 3-4 ore per quello di II livello. Ci sono differenze, inoltre, circa la permanenza sul territorio: fino a 12h per quello di I livello, mentre sono 72 h per quello di II livello. Infine il PMA di I livello può trattare fino a 10 pazienti/giorno mentre quello di II livello fino a 50 pazienti/giorno.

È importante installare un Posto Medico Avanzato in prossimità delle vie di comunicazione ma al tempo stesso, in un'area sicura per i soccorritori, meglio ancora se attrezzata con una piazzola che consenta l'atterraggio degli elicotteri. Il PMA deve essere facilmente individuabile tramite cartelli segnaletici. A livello funzionale ciò che lo caratterizza è che il flusso delle vittime avvenga in un'unica direzione (fig.4): infatti si compone di un'area di triage in cui viene compilata una scheda sanitaria sulla quale è indicato il codice di gravità del paziente, il quale sarà inviato nelle aree successive. L'area dei rossi/gialli rappresenta quella dei feriti gravi all'interno della quale avvengono manovre di rianimazione pre- ospedaliera e stabilizzazione. C'è anche l'area dei verdi in cui ci sono pazienti che devono essere medicati o semplicemente rassicurati: generalmente vengono valutati solamente dopo che sono stati evacuati i feriti

gravi.

Segue l'area di evacuazione in cui i pazienti, una volta sottoposti ad una prima valutazione, vengono trasferiti nelle strutture ospedaliere; da qui l'importanza di una piazzola di sosta per i mezzi di trasporto compresa la possibilità di atterraggio degli elicotteri. I codici neri rappresentano le persone decedute che vengono deposte in un'area separata presidiata dalle Forze dell'Ordine.

All'interno del PMA ci sono medici e infermieri, adeguatamente addestrati secondo la disciplina dell'emergenza e maxiemergenza.

Tra i compiti che devono svolgere, ci sono (Morra et al., 2008):

- accettazione dei feriti e degli scampati;
- valutazione clinica e secondo triage, più completo di quello sommario effettuato nella zona dei soccorsi;
- definizione delle modalità di evacuazione.

All'interno del PMA devono essere organizzate le scorte in cassette preassemblate in quattro colori diversi sulla base di quello che contengono: rosso per le infusioni, giallo per materiale non sanitario, verde per la

medicazione e immobilizzazione infine blu per la ventilazione.

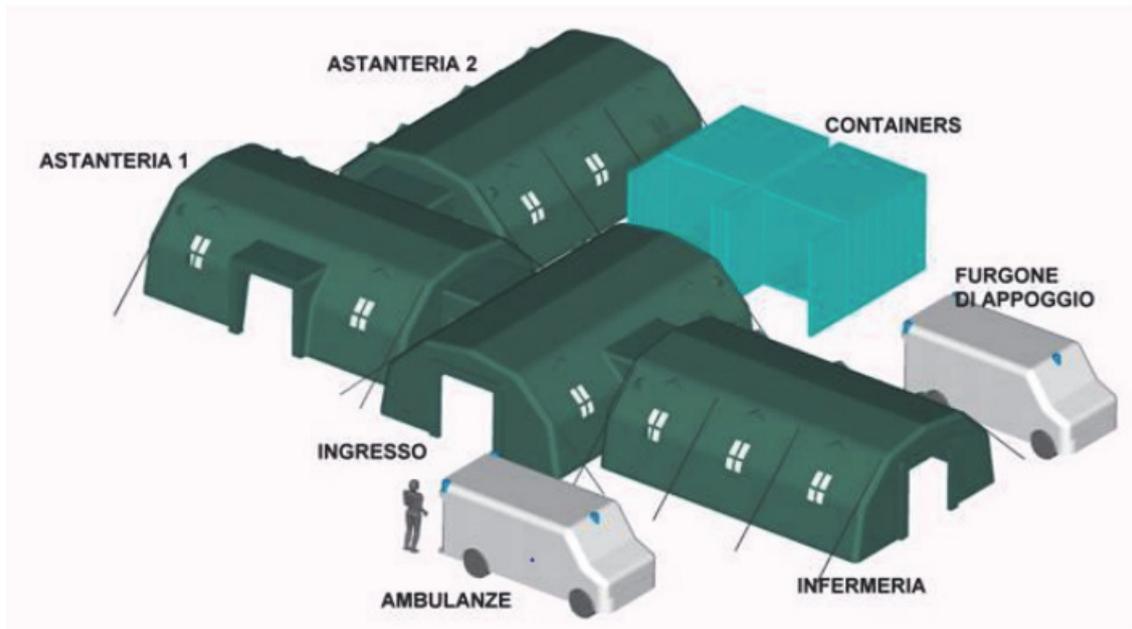


Figura 4: Schema Posto Medico Avanzato

Uno dei cardini fondamentali per la gestione di tutte le emergenze è la comunicazione, motivo per cui ci devono essere adeguati sistemi di comunicazione radio per garantire il collegamento con le strutture sanitarie.

Ospedale da campo

Il PMA non deve essere confuso con l'Ospedale da Campo; il primo è un anello della catena dei soccorsi, in cui ci sono azioni di soccorso e stabilizzazione in vista di un'evacuazione; il secondo è una struttura di cura e degenza che può essere più o meno lunga. L'importanza di un ospedale da campo è molto spesso legata al fatto che in caso di disastro, gli ospedali potrebbero diventare

inutilizzabili, quindi, costituiscono una soluzione per fornire servizi sanitari sicuri alle popolazioni coinvolte e per il proseguimento del trattamento dei pazienti già ospedalizzati. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, sono unità composte da container, tende e moduli gonfiabili, con almeno dieci posti letto, una sala operatoria, un laboratorio di base e apparecchiature radiologiche mobili. Si tratta di una struttura temporanea. L'area di installazione dovrebbe essere studiata e definita in anticipo e, dovrebbe essere lontana dalle strutture potenzialmente in collasso, quindi in un luogo sicuro non soggetto a inondazioni, frane, incendi e contaminazioni. Può essere installato in edifici sicuri (sale comunali, palazzetti sportivi, capannoni), incolumi dal disastro (Morra et al, 2008). Tra tutte queste soluzioni, l'utilizzo delle tende è sicuramente più semplice ed economico perché installabili facilmente e rapidamente, trasferibili in un altro sito, riparabili e soprattutto riutilizzabili più volte (Tekin et al., 2017). Si tratta di una struttura modulare, facilmente collocabile e ampliabile, composta da cinque sezioni principali (Tekin et al.; 2017):

- un'unità amministrativa;
- un'accettazione ospedaliera;
- un'unità operativa;
- una sezione logistica;

- una sezione per i servizi umanitari.

Durante i disastri, gli ospedali da campo possono essere costretti anche a svolgere mansioni aggiuntive alla cura del paziente, come fornire aiuto alimentare e riparo alle persone colpite dal disastro.

Devono rispettare delle caratteristiche molto importanti per poter essere definiti tali. Si tratta di caratteristiche:

- *Funzionali*, ossia legate all'autonomia e alla modularità della struttura sulla base delle necessità specifiche dell'emergenza che si sta affrontando. È necessario che sia autosufficiente per quel che riguarda i trattamenti sanitari e che possa essere utilizzato in tempi brevi. Parte fondamentale è la logistica legata ai trasporti, all'approvvigionamento del materiale necessario ma anche la necessità di fornire vitto e alloggio al personale impiegato nella struttura. Componente fondamentale è la gestione dei rifiuti e l'utilizzo, ad esempio, di un inceneritore portatile soprattutto in paesi in via di sviluppo;
- *Strutturali*, ossia la presenza di una sala operatoria, di un laboratorio analisi e di posti letti per la degenza nonché di apparecchiature per la diagnostica;
- *Relative al personale sanitario*, equipe specializzate in interventi di breve durata. In alternativa la struttura campale può essere donata

all'autorità sanitaria senza il personale nel caso si prevedesse un utilizzo prolungato della struttura stessa;

- Di *attivazione* solo se perviene una richiesta di aiuto internazionale da parte delle autorità locali. In realtà non solo in caso di emergenze in paesi in via di sviluppo, basti pensare al terremoto del 2009 all'Aquila. Deve integrarsi al sistema sanitario locale.

La tipologia di ospedale da campo e anche il sito in cui sarà installato dipenderanno anche da altri fattori come:

- Popolazione colpita;
- Edifici danneggiati;
- Area di impatto dell'evento;
- Condizioni climatiche della zona e stagione;
- Accessibilità all'area interessata;
- Presenza di *after-shocks* (scosse di assestamento)

Di seguito si riportano alcune esperienze di ospedali da campo e approfondimenti circa studi che derivano da esperienze pregresse.

L'ospedale da campo a L'Aquila (fig.5), pronto dopo appena dieci ore dall'evento sismico, era completo di una sala operatoria e di una tenda per le degenze per tutti quei pazienti che erano già ricoverati nell'ospedale reso

inagibile dal sisma e per i feriti che continuavano ad arrivare dalle case crollate. L'ospedale rimase attivo per due mesi e gli accessi all'ospedale da campo furono 6045, con una media giornaliera di 93 pazienti (AgenSIR, 21/04/2009).



Figura 5: Ospedale da campo L'Aquila

Un altro esempio che sottolinea l'importanza degli ospedali da campo deriva dal terremoto del 12 Novembre 1999 a Duzce, Turchia. Molte furono le vittime e gli ospedali e le strutture sanitarie in genere furono pesantemente compromesse: edifici danneggiati, in particolare proprio l'ospedale di Duzce e fornitura di energia elettrica e acqua furono ridotte in molte aree della città. Risultarono danneggiate anche le vie di comunicazione e il 90% della popolazione si trovò a vivere nelle tende. I problemi maggiori si riscontrarono nelle prime due settimane successive al terremoto: la presenza di scosse di

“assestamento” non consentiva l’utilizzo di spazi medici al chiuso e anche la possibilità di poter eseguire interventi chirurgici era esclusa. Venne, quindi, installato un ospedale da campo (IDF field hospital- Israeli Defence Force field hospital) di tipo militare il cui personale aveva esperienza di interventi post terremoto: in seguito alle richieste delle autorità turche, tre giorni dopo il terremoto, ci fu l’installazione dell’ospedale da campo. Il compito primario della struttura campale fu provvedere alle cure mediche primarie e secondarie, alla terapia intensiva e agli interventi chirurgici per la popolazione di Duzce. Per avere un’idea di quanto queste strutture siano “complesse” e organizzate, all’interno di questo ospedale da campo intervennero professionisti tra medici, infermieri, tecnici e persone addette alla logistica e alla comunicazione; era composto, inoltre, da sette sezioni come la stanza del triage, sala operatoria, terapia intensiva chirurgica, medicina interna, ortopedia, pediatria, ginecologia e ostetricia. Il tutto organizzato in tende nelle vicinanze dell’ospedale di Duzce. L’ospedale da campo rimase attivo finché ci fu pericolo di scosse di assestamento.

Da questa esperienza ne deriva che una buona costruzione di un ospedale da campo unita alla sua multidisciplinarietà, può andare a sanare quel *gap* che l’evento ha causato alla struttura medica dando risposte alla popolazione davanti a problemi medici urgenti o meno urgenti. Occorre precisare che gli

ospedali da campo installati due o tre giorni dopo l'evento, in questo caso un sisma, non hanno l'obiettivo di portare soccorso ai feriti ma di valutare e trattare problemi che derivano dalla vita post evento come il diffondersi di infezioni, esacerbazione di malattie croniche, fornitura di medicine (Y. Bar Dayan, 1999).

Un altro esempio è quello relativo all'assistenza sanitaria in Kosovo a causa del conflitto che durò poco più di un anno (28/02/1998- 11/06/1999). L'assistenza sanitaria in realtà si protrasse oltre il termine della guerra perché l'emergenza era causata anche dall'esodo dei profughi dal Kosovo verso l'Albania. Si trattava di un numero di persone tale che fece trovare impreparate tutte le organizzazioni umanitarie internazionali. L'Italia portò il suo aiuto e creò un centro di accoglienza a Kukës e altri posti di primo soccorso sanitario nei vari centri urbani. Inizialmente si pensava di portare aiuto a circa 25000 persone in dieci giorni, in realtà si raggiunse il milione di persone. L'obiettivo dell'intervento era la fascia di popolazione in età pediatrica (0 e 15 anni). Nel 2004 era ancora attivo un ospedale da campo a Pec, evoluzione di quello presente a Durazzo; questo a sottolineare quanto l'intervento si protrasse nel tempo nonostante il conflitto fosse terminato ormai da cinque anni (A. Masetti, 2004).

Oltre ai tre esempi concreti di cui sopra, c'è una continua attenzione verso l'implementazione e il miglioramento dei servizi forniti dagli ospedali da

campo durante le emergenze. Uno degli obiettivi è capire come si può portare un aiuto concreto: uno studio ha infatti analizzato, i tempi di attivazione degli ospedali da campo stranieri schierati durante il primo mese dopo il terremoto di Haiti del 2010 e valutato l'adesione o lo scostamento alle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. Per fare ciò sono stati contattati i soccorritori in ambito sanitario intervenuti, ai quali è stato chiesto di compilare un sondaggio inviato tramite posta elettronica o presente in rete. È emerso che il primo ospedale da campo era già operativo il secondo giorno dopo il terremoto; durante il primo mese gli ospedali da campo hanno condotto più di 12000 interventi di chirurgia. Emerse anche un dato positivo: era stata fornita un'assistenza medica maggiore rispetto al terremoto del 2005 in Pakistan, offrendo il triplo dei posti letto.

A riprova che si tratta di una tematica sentita e in continua evoluzione, è notizia proprio di giugno 2023 la presentazione di un nuovo ospedale da campo della regione Toscana. Questa struttura campale potrà essere utilizzata in caso di maxi emergenze sul territorio regionale, nazionale e internazionale. L'ampliamento dell'attuale struttura e l'adattamento agli standard internazionali EMT2 (Emergency Medical Team di tipo 2) è partita a giugno 2022 e avrà una durata complessiva di 24 mesi. L'obiettivo del progetto è quello di potenziare la risposta operativa in caso di maxi emergenze, sia in

termini di strutture sia di strumentazione ma soprattutto di formazione del personale del sistema sanitario regionale e della protezione civile. Sono previste anche due esercitazioni campali, fondamentali per la formazione del personale, per apportare modifiche alle strutture ma soprattutto alle procedure in maniera tale da adottare una procedura adeguata e comprovata in caso di emergenza: si testeranno infatti la struttura nel suo complesso, le procedure di attivazione e l'allestimento e gestione dell'attività sanitaria. Al termine dei lavori di adattamento, l'ospedale da campo dovrà comporsi di un ambulatorio, una sala operatoria, 20 posti letto per la degenza, un'area materno- infantile e spazi per l'ortopedia, radiologia e riabilitazione. Fondamentale sarà anche la gestione dei rifiuti definita eco- compatibile e la presenza di un magazzino per lo stoccaggio dei materiali. Per rispondere agli standard europei dovrà garantire:

- Disponibilità di partenza entro 48-72 ore;
- Operatività sul posto entro 24-96 ore;
- Autosufficienza per tutta la durata della missione;
- Operatività H24, 7 giorni su 7.

All'interno lavoreranno circa 60-70 persone tra medici, infermieri e logisti (C. Bianchini, 12/06/2023).

1.2 Categorie di rifiuti prodotti da un ospedale da campo

1.2.1 Inquadramento normativo italiano ed europeo

La definizione di rifiuto secondo l'art. 183 del D. Lgs. 152/2006 parla di *“sostanze o oggetti che derivano da attività umane o da cicli naturali, di cui il detentore si disfi o abbia deciso di disfarsi”*.

Il detentore pertanto è il soggetto che ha la responsabilità della corretta gestione del rifiuto. Per fare ciò è necessario, soprattutto nelle strutture logisticamente più complesse, che ogni operatore abbia gli elementi utili per saper comportarsi nella maniera più corretta e sappia cosa fare per contribuire ad una corretta gestione del rifiuto. La direttiva n° 156 emanata dalla CEE obbliga gli Stati membri al raggiungimento di determinati obiettivi di raccolta differenziata e prevede il ricorso dello smaltimento in discarica dei rifiuti solo come ultima possibilità, visto l'impatto negativo nel lungo periodo sull'ambiente. La normativa invita, inoltre, gli Stati membri ad elaborare quanto prima piani di gestione al fine di preventivare e decidere come utilizzare il rifiuto prodotto. A livello italiano, la normativa comunitaria viene recepita per mezzo del Decreto Legislativo n° 22 del 5 Febbraio 1997, denominato anche “Decreto Ronchi”. Le finalità del Decreto 22/97 sono essenzialmente la protezione dell'ambiente e la responsabilizzazione dei soggetti coinvolti nel ciclo di vita dei prodotti. La normativa prevede che *«i rifiuti debbano essere recuperati o smaltiti senza*

pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente», specificando anche che devono essere evitati i rischi per l'aria, l'acqua, il suolo e che non devono essere danneggiati il paesaggio e i siti di particolare interesse ambientale. I rifiuti prodotti sono degli ottimi indicatori; attraverso la loro analisi raccontano il modo di consumare e/o utilizzare le risorse da parte di una comunità. L'aumento del rifiuto solido prodotto giornalmente da un individuo è il risultato delle mutazioni tecnologiche, sociali ed economiche indotte dai meccanismi che dominano lo sviluppo (H.G. Mazzei et al., 2023). Il problema dei rifiuti prodotti dall'uomo è sempre esistito, ma oggi lo percepiamo maggiormente a causa delle quantità prodotte, dei problemi di smaltimento e della scarsità di materie prime al quale si sta andando sempre più incontro. I rifiuti rappresentano senz'altro un problema ambientale: quando si getta un prodotto e questo diventa un rifiuto, si genera tutta una serie di impatti legati al suo trattamento, che rappresentano una parte della “storia” di un rifiuto.

I rifiuti vengono poi classificati secondo l'origine *in rifiuti urbani e rifiuti speciali* e secondo le caratteristiche in pericolosi e non pericolosi.

Tra i rifiuti urbani si trovano:

- Rifiuti domestici anche ingombranti:

- rifiuti che derivano dallo spazzamento delle strade, che giacciono sulle strade e le aree pubbliche;
- rifiuti vegetali.

Sono rifiuti speciali:

- rifiuti da lavorazione industriale;
- rifiuti da attività commerciali;
- rifiuti che derivano da attività sanitarie;
- macchinari e apparecchiature deteriorati e obsoleti.

Tra i rifiuti pericolosi c'è la distinzione tra urbani pericolosi e speciali pericolosi. I primi sono rifiuti urbani che hanno un'origine civile ma che contengono all'interno un'elevata dose di sostanze pericolose. Pertanto devono essere gestiti in maniera diversa rispetto ai rifiuti urbani "normali". Un esempio di questo tipo di rifiuto sono i medicinali scaduti e le pile. Il secondo tipo di rifiuto invece proviene dalle attività produttive e contengono un'elevata dose di sostanze inquinanti, motivo per cui occorre renderli innocui per ridurre la loro pericolosità. Le fonti possono essere:

- raffinazione del petrolio;
- processi chimici;
- industria fotografica;

- impianti di trattamento dei rifiuti;
- ricerca medica e veterinaria.

1.2.2 Il problema dei rifiuti in emergenza

Per poter avere una migliore visione d'insieme di quelli che sono i rifiuti che escono da un ospedale da campo, occorre tenere in considerazione la situazione in cui vengono prodotti. Si tratta di una situazione di emergenza, per cui si è al di fuori di quella che potrebbe essere considerata la “normalità”: cambiano le condizioni, le strutture, i servizi a disposizione. Cambiano le modalità di gestione: non si è all'interno di una struttura ospedaliera in cui i ruoli sono ben definiti e le procedure testate e riviste periodicamente. E poi possono cambiare le condizioni sociali, economiche, etiche, le usanze sulla base del paese in cui ci si trova a fronteggiare l'emergenza. Come già sottolineato è differente intervenire in un paese industrializzato piuttosto che in un paese in via di sviluppo. Quello che sicuramente si può fare “in tempo di pace” è stabilire delle procedure standard possibilmente già testate ed eventualmente corrette nel corso di un'emergenza o di esercitazioni, stabilire come dividere i rifiuti, il “percorso” che devono seguire, una corretta formazione del personale nella separazione e gestione dei rifiuti ponendo un'attenzione maggiore nei confronti dei rifiuti sanitari pericolosi. Inadeguatezza del sistema di gestione

dei rifiuti nei paesi in via di sviluppo è causato dal non seguire regole rigorose, mancanza di conoscenze, fondi insufficienti, mezzi tecnologici non adeguati (Pak Armed Forces Med J, 2020).

I prossimi due sottoparagrafi si occupano rispettivamente dei rifiuti prodotti nel corso di un'emergenza in maniera generale, il primo, e dei rifiuti di un ospedale da campo, il secondo.

1.2.3 Rifiuti provenienti da un'emergenza

Sia che si debba affrontare le conseguenze di un disastro in un paese in via di sviluppo sia in un paese industrializzato, soprattutto nella fase iniziale di recupero, è richiesto un grande impegno per la rimozione dei rifiuti provocati da un determinato disastro (ad esempio macerie). Tali rifiuti possono sopraffare la capacità delle strutture esistenti e avere un'influenza negativa su tutte le altre attività di risposta alle emergenze e di recupero. Al momento di un disastro, i pianificatori devono determinare la quantità di rifiuti generati, raccogliarli in opportuni siti di stoccaggio temporanei e selezionare e disporre le opportune opzioni di smaltimento o di riciclaggio. Poiché può essere difficile fare tutto ciò durante un'emergenza, è importante che siano previsti tali scenari in tempi normali, definiti "di pace", e preparare piani o linee guida per l'esecuzione di questi compiti. I disastri, quindi, possono causare o peggiorare, situazioni di emergenza attraverso gli ingenti danni alle

strutture e ai servizi sanitari. La presenza di rifiuti, inoltre, pone anche un potenziale rischio per la salute pubblica: rifiuti organici e pozze d'acqua stagnanti, ad esempio, possono innescare la generazione di vettori di malattie, comunemente trasmissibili, in particolare quando vi è un grande numero di persone sfollate (Brown et al., 2011). Nel più lungo termine, una gestione inadeguata dei rifiuti può comportare un recupero lento e costoso, mentre se gestiti in modo efficace, possono diventare una risorsa preziosa anche nel processo di ricostruzione, portando un vantaggio per la ripresa sociale ed economica. In generale, i paesi in via di sviluppo soffrono maggiormente nel momento in cui vengono colpiti da un evento calamitoso: la difficile situazione in questi paesi deriva dal fatto che non sono preparati ad affrontare tali “situazioni di crisi” e la gestione dei rifiuti solidi potrebbe non essere adeguata. Di conseguenza, la mancanza di preparazione può portare ad un aumento delle perdite di vite e di strutture, evitabili con un'adeguata pianificazione. Di solito, i piani di gestione dei rifiuti di emergenza variano da un paese all'altro, a causa del fatto che ogni paese ha delle modalità diverse di gestione dei rifiuti, quindi, non è possibile applicare un piano di gestione di un paese a un altro paese. Ad esempio, non è possibile applicare il piano di un paese sviluppato che ha una gestione sofisticata dei rifiuti, in un paese in via di sviluppo, che ha già un sistema di gestione inadeguato alle spalle. Ovviamente, queste differenze

devono essere considerate durante la preparazione del piano di gestione dei rifiuti solidi post disastro in qualsiasi paese (Karunasena et al., 2009). Tipicamente i rifiuti che si considerano in conseguenza di un evento sono quelli solidi e liquidi, che includono: componenti in calcestruzzo, acciaio, legno, argilla, catrame, arredi per la casa; componenti delle reti elettriche (pali e fili elettrici); trasformatori; fango, alberi sradicati e rami; prodotti chimici, vernici, coloranti e altre materie prime provenienti da industrie e laboratori; rifiuti provenienti da operazioni di soccorso; automobili; ordigni inesplosi; acque reflue; rifiuti alimentari; rifiuti sanitari.

Non sono compresi in tali categorie i cadaveri umani (richiedono un trattamento specifico che rispetti la cultura e le comunità locali); il materiale fecale e le urine. I rifiuti che provengono da un'emergenza in realtà sono diversi in relazione alla tipologia di evento avverso: terremoto, esondazione, eruzioni vulcaniche e cicloni. Si tratta di materiale come (Heinrich et al., 2015):

- muratura ossia mattoni, pietre e cemento che in genere possono essere riciclati per nuove costruzioni se consentito dalla normativa;
- l'amianto che andrebbe subito rimosso e smaltito ma molto spesso risulta difficile separarlo da altri materiali di rifiuto che quindi si procede al trattamento come rifiuti contaminati;

- metalli che derivano da recinzioni danneggiate, cavi elettrici, infissi e che vengono separati dagli altri rifiuti al fine del riciclaggio;
- rifiuti vegetali, suoli e sedimenti;
- veicoli e navi, in questo caso il problema è legato alla presenza di carburante al loro interno che nel caso non venisse rimosso può portare a ripercussioni sulla salute umana e dell'ambiente;
- rifiuti sanitari e farmaceutici provenienti da ospedali, laboratori, farmacie e ospedali da campo: è bene separare questo tipo di rifiuti, potenzialmente pericoloso, e provvedere allo smaltimento in strutture appropriate.

1.2.4 Gestione dei rifiuti in emergenza e relativi impatti

La gestione dei rifiuti in seguito ad un disastro comporta impatti di varia natura sulle comunità e sull'ambiente colpiti, ovvero:

- un impatto notevole sulla velocità e sui costi di recupero e ricostruzione;
- la possibilità di incremento dell'occupazione locale dopo il disastro;
- la possibilità di disporre di prodotti riciclati per la ricostruzione;
- impatti duraturi sulla salute umana e sull'ambiente.

L'esperienza ha dimostrato che i rifiuti in situazioni di emergenza possono rappresentare seri rischi per la salute pubblica, derivanti soprattutto dal contatto

diretto con i rifiuti accumulati per le strade, pesticidi, olii e solventi, e indirettamente da vettori come mosche e roditori. D'altra parte, i rifiuti, possono rappresentare un'opportunità, cioè si possono trarre dei benefici recuperandoli: si pensi al materiale contenente cemento, acciaio o legno, i quali se utilizzati per la fase di ricostruzione, riducono lo sfruttamento delle risorse naturali che altrimenti dovrebbero essere estratte (UNEP/OCHA, 2013).

La salute e la sicurezza del personale attivo sul luogo dell'evento è indispensabile per il successo di qualsiasi iniziativa per la gestione dei rifiuti. In primo luogo, tutti i componenti del *team* devono essere esperti e addestrati, e devono assicurare un utilizzo conforme e adeguato dei DPI (dispositivi di protezione individuale), che comprendono qualsiasi attrezzatura destinata a essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante l'espletamento delle attività, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo. Inoltre, le persone che lavorano a stretto contatto con i rifiuti, dovrebbero avere accesso a cambi e lavaggi periodici di vestiario. In ultimo, dovrebbero essere presenti dei sistemi per la minimizzazione della polvere, prodotta dalla macinazione delle macerie, utilizzando degli spray d'acqua nonché meccanismi di riduzione di rumori e vibrazioni (UNEP/OCHA, 2013).

A livello nazionale non esistono linee guida o protocolli specifici per la gestione dei rifiuti in emergenza, e sicuramente, la creazione di tali documenti favorirebbe una gestione più efficiente del materiale prodotto, migliorando notevolmente la gestione dell'emergenza, nelle fasi immediatamente successive al disastro. In condizioni di normalità, la gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU), per quanto concerne la frazione indifferenziata, prevede diverse fasi: la raccolta, il trasporto, il recupero e riciclaggio e lo smaltimento in discarica. Questa prassi in situazioni di emergenza come terremoti e alluvioni, viene a mancare, in quanto le autorità competenti devono gestire quantità e tipologie di rifiuti anomali, in tempi molto ristretti. La gestione delle emergenze viene affidata al dipartimento di Protezione Civile nazionale e nonostante l'Italia sia colpita in maniera sistematica e costante da numerosi eventi naturali, non sono ancora stati sviluppati piani di emergenza specifici per la gestione dei rifiuti in emergenza (Gabrielli et al., 2018).

Alla gestione dei rifiuti nei paesi in via di sviluppo si aggiungono ulteriori difficoltà che derivano da un non adeguato coordinamento tra i dipartimenti governativi competenti, il coinvolgimento degli *stakeholders* e, soprattutto, la mancanza di capacità finanziaria e tecnica. In molti paesi, la gestione dei rifiuti si concentra principalmente sui rifiuti urbani; mentre rifiuti di costruzione e demolizione (a seguito di un evento) non sono ben definiti nelle politiche

nazionali e locali. Si riscontrano carenze in tecnologie e/o attrezzature necessarie, pertanto non è sempre possibile procedere ad una rimozione rapida dei rifiuti generati da un disastro, così come c'è molta carenza di risorse umane addestrate e qualificate *ad hoc*, per sviluppare e attuare piani di gestione dei rifiuti e per guidare il coordinamento tra le parti interessate (Memon, 2015).

1.2.5 Rifiuti di un ospedale da campo

Dopo un evento, calamitoso o di natura antropica, tra le priorità c'è l'installazione di ospedali da campo. In queste strutture si producono grandi quantità di rifiuti e di acque reflue. Particolare attenzione va prestata ai rifiuti sanitari, in quanto fin dalle prime attività di triage e di classificazione delle vittime, vengono prodotti rifiuti potenzialmente infettivi, all'interno di una Struttura Sanitaria Campale, quindi il contatto diretto con essi deve essere evitato al fine di contrastare la diffusione di microrganismi patogeni. Le principali categorie di rifiuti che destano preoccupazione sono (WHO, 2002):

- rifiuti infettivi, provengono da ambienti di isolamento infettivo venuti a contatto con un qualsiasi liquido biologico secreto o escreto del paziente in isolamento, oppure contaminati da sangue, feci o urina. Sono materiali sospettati di contenere agenti patogeni come batteri, virus, parassiti o funghi in quantità tale da provocare la malattia negli ospiti sensibili;

- materiali taglienti e pungenti come aghi, siringhe, bisturi monouso. Sono considerati sempre potenzialmente pericolosi, sia utilizzati che non;
- rifiuti farmaceutici tra cui destano molta preoccupazione antibiotici e antimicotici, ma anche farmaci scaduti. Oggetti contaminati da farmaci o contenenti prodotti farmaceutici. A loro volta comprendono:
 - oggetti fortemente contaminati durante la manipolazione di prodotti farmaceutici come flaconi, fiale e scatole contenenti residui farmaceutici, guanti, mascherine.
 - i rifiuti genotossici (tossici per il DNA) anche questi fortemente pericolosi che possono avere proprietà mutagene (ossia indurre una mutazione genetica), teratogene (ossia provocare difetti all’embrione o al feto) e cancerogene;
- rifiuti chimici, derivano principalmente da laboratori analisi e di diagnosi come la radiologia. Si presentano come soluzioni acquose di lavaggio, miscele di solventi e reagenti. Sono pericolosi se risultano corrosivi, infiammabili, esplosivi, sensibili agli urti e ossidanti. Una sostanza che si trova molto spesso è la formaldeide utilizzata, ad esempio, per disinfettare le attrezzature;
- rifiuti con alto contenuto di metalli pesanti come mercurio (termometri, batterie, misuratori di pressione rotti). Sono altamente tossici;

- contenitori pressurizzati, potrebbero esplodere se inceneriti o forati;
- rifiuti radioattivi ospedalieri che sono costituiti prevalentemente da materiale contaminato a seguito della preparazione e della somministrazione di radiofarmaci (carta da banco, cotone contaminato, effetti del paziente, siringhe, materiale proveniente dalle stanze di degenza nel caso di trattamenti terapeutici in regime di ricovero) oppure provenienti da laboratori. Di seguito schematizzata la composizione dei rifiuti prodotti da una struttura sanitaria (Safe Management of wastes from health-care activities, WHO- 2014): circa l'85% dei rifiuti appartiene a quelli non pericolosi, per cui assimilabili agli urbani, Il restante 15% è costituito dai rifiuti pericolosi: il 5% è costituito da rifiuti chimico- radioattivi e il 10% da rifiuti infetti (fig.6).

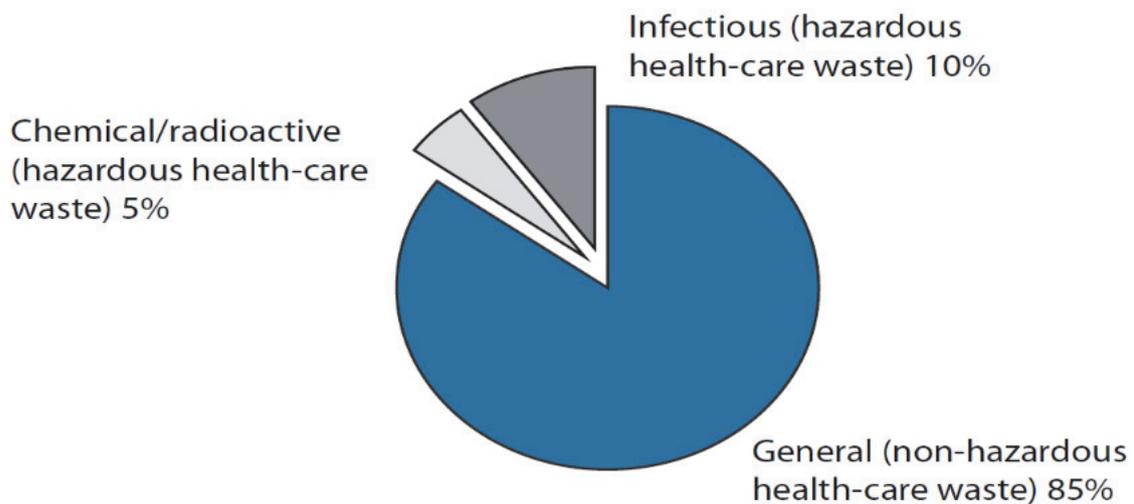


Figura 6: Composizione rifiuti sanitari

I rifiuti sanitari sono caratterizzati dall'essere eterogenei nella loro composizione: contengono plastica, carta (15-40%), metallo (1-10%), vetro (5-15%) e tessuti (10-25%) (WHO, 2014). Ogni tipo di rifiuto richiede misure specifiche per la manipolazione, lo stoccaggio, la raccolta e la distruzione. Quando c'è una grande produzione di rifiuti come nel caso di un ospedale da campo, seppur meno esteso di una qualsiasi struttura sanitaria, può essere necessario l'incenerimento. Inoltre, sempre associato agli ospedali da campo sono necessari impianti di trattamento delle acque reflue e smaltimento dei rifiuti.

I rifiuti devono essere differenziati prima di andare al trattamento. Motivo per cui è bene che il personale sia adeguatamente formato e informato, che vengano scelti i contenitori da utilizzare (vetro, plastica) e le metodiche di stoccaggio.

I rifiuti non pericolosi non presentano caratteristiche di pericolosità, sono assimilabili agli urbani, come i pasti provenienti dai reparti non infettivi, dalle cucine, il materiale riciclabile non infetto come carta (confezioni farmaci vuoti, tetrapak, etc.), plastica (contenitori vuoti detersivi etc.), vetro (lattine, bottiglie infusione, etc.), indumenti e teli monouso.

Di seguito una tabella (tab.1) che riassume quali tipi di rifiuti vengono prodotti per reparto ospedaliero, suddividendo quali sono le attività che comportano una

maggior quantità di rifiuti (Safe Management of Wastes from Health-care Activities, WHO- 2014):

Tabella 1: Rifiuti prodotti suddivisi per reparto ospedaliero

Major sources (hospitals and medical centres)				
	Sharps	Infectious and pathological waste	Chemical, pharmaceutical and cytotoxic waste	Non-hazardous or general waste
Medical ward	Hypodermic needles, intravenous set needles, broken vials and ampoules	Dressings, bandages, gauze and cotton contaminated with blood or body fluids; gloves and masks contaminated with blood or body fluids	Broken thermometers and blood-pressure gauges, spilt medicines, spent disinfectants	Packaging, food scraps, paper, flowers, empty saline bottles, non-bloody diapers, non-bloody intravenous tubing and bags
Operating theatre	Needles, intravenous sets, scalpels, blades, saws	Blood and other body fluids; suction canisters; gowns, gloves, masks, gauze and other waste contaminated with blood and body fluids; tissues, organs, fetuses, body parts	Spent disinfectants Waste anaesthetic gases	Packaging; uncontaminated gowns, gloves, masks, hats and shoe covers
Laboratory	Needles, broken glass, Petri dishes, slides and cover slips, broken pipettes	Blood and body fluids, microbiological cultures and stocks, tissue, infected animal carcasses, tubes and containers contaminated with blood or body fluids	Fixatives; formalin; xylene, toluene, methanol, methylene chloride and other solvents; broken lab thermometers	Packaging, paper, plastic containers
Pharmacy store			Expired drugs, spilt drugs	Packaging, paper, empty containers
Radiology			Silver, fixing and developing solutions; acetic acid; glutaraldehyde	Packaging, paper
Chemotherapy	Needles and syringes		Bulk chemotherapeutic waste; vials, gloves and other material contaminated with cytotoxic agents; contaminated excreta and urine	Packaging, paper
Vaccination campaigns	Needles and syringes		Bulk vaccine waste, vials, gloves	Packaging
Environmental services	Broken glass		Disinfectants (glutaraldehyde, phenols, etc.), cleaners, spilt mercury, pesticides	Packaging, flowers, newspapers, magazines, cardboard, plastic and glass containers, yard and plant waste
Engineering			Cleaning solvents, oils, lubricants, thinners, asbestos, broken mercury devices, batteries	Packaging, construction or demolition waste, wood, metal
Food services				Food scraps; plastic, metal and glass containers; packaging
Minor sources				
	Sharps	Infectious and pathological waste	Chemical, pharmaceutical and cytotoxic waste	Non-hazardous or general waste
Physicians' offices	Needles and syringes, broken ampoules and vials	Cotton, gauze, dressings, gloves, masks and other materials contaminated with blood or other body fluids	Broken thermometers and blood-pressure gauges, expired drugs, spent disinfectants	Packaging, office paper, newspapers, magazines, uncontaminated gloves and masks
Dental offices	Needles and syringes, broken ampoules	Cotton, gauze, gloves, masks and other materials contaminated with blood and other body fluids	Dental amalgam, spent disinfectants	Packaging, office paper, newspapers, magazines, uncontaminated gloves and masks
Home health care	Lancets and insulin injection needles	Bandages and other material contaminated with blood or other body fluids	Broken thermometers	Domestic waste

In passato i rifiuti urbani e non pericolosi venivano gettati in discarica o bruciati negli inceneritori delle città. La maggiore consapevolezza sui relativi impatti e sul riconoscimento che la maggior parte dei rifiuti non pericolosi provenienti dalle strutture sanitarie sono riciclabili o compostabili ha cambiato l'approccio

generale sulla gestione di questi rifiuti (Safe Management of Wastes from Health-care Activities, WHO- 2014). Rientrano in questa categoria anche quelli sottoposti a sterilizzazione o da smaltire in inceneritori o in discarica (secondo la normativa italiana). Occorre considerare che è difficile generalizzare e confrontare la composizione e lo scenario di produzione di rifiuti sanitari perché varia in base a parametri socioeconomici, assistenza sanitaria, mancanza di dati, scarichi illegali (Minoglou et al.,2017; OMS, 2004). I paesi ad alto reddito sono più inclini a generare rifiuti sanitari (4-8.2 kg/letto/giorno) rispetto a quelli a basso reddito (1-2 kg/letto/giorno). Negli ultimi anni anche i paesi in via di sviluppo hanno aumentato la produzione di rifiuti sanitari a seguito di miglioramenti in ambito economico, maggiore disponibilità di assistenza sanitaria e anche del progresso tecnologico (Korkut, 2018). Ma la grande produzione di rifiuti deriva anche dal grande utilizzo di materiali monouso. Un esempio è il Bangladesh caratterizzato negli ultimi anni da una grande crescita economica e da un tasso di produzione dei rifiuti superiore del 3% (M.R. Dihan et al.). Si è riscontrato che una struttura sanitaria su tre non segue criteri per una gestione sicura (OMS, 2004) e solo il 44% dei paesi in via di sviluppo segue processi di segregazione, smaltimento e trattamenti adeguati (Singh et al., 2022). I problemi legati ai rischi professionali (lesioni, contaminazione) stanno portando questi paesi a seguire criteri più rigorosi (Cosimato et al., 2020; OMS,

2014). Ciò che viene seguito maggiormente nei paesi in via di sviluppo e poveri come il Bangladesh sono la segregazione per colore, raccolta e incenerimento (Khan et al., 2019; Minogou et al., 2017; Singh et al., 2022). Tra i diversi tipi di trattamento ci sono sicuramente quelli termici, chimici, biologici anche se l'autoclave si è rivelato il più adatto. Indipendentemente da considerare la produzione e il trattamento dei rifiuti in paesi in via di sviluppo o paesi industrializzati, la pandemia COVID 19 ha portato ad un aumento dei rifiuti sanitari a causa di un utilizzo generalizzato di DPI (non solo per il personale sanitario), kit di vaccinazione e tamponi. Ad esempio, nei paesi asiatici la produzione è aumentata di dieci volte (OMS, 2022). I rifiuti sanitari come fiale, siringhe, materiali taglienti, potenzialmente infettivi, sono aumentati notevolmente anche con l'avvio della vaccinazione di massa per la pandemia.

1.3 Stato dell'arte della gestione dei rifiuti provenienti da ospedali da campo

Dopo questa prima parte generale sulle caratteristiche dei rifiuti, sulle differenze tra oriente e occidente circa la quantità di rifiuti prodotti e la loro successiva gestione, sulle tipologie di rifiuti che sappiamo arrivare da una struttura campale di seguito alcuni casi trovati in letteratura circa i rifiuti prodotti, le quantità e le strategie di gestione. Una prima osservazione è che i dati riportati in tabella fanno riferimento prevalentemente a strutture ospedaliere in quanto si trovano poche informazioni sulle strutture campali. Una seconda osservazione è che i dati sono relativi per la quasi totalità a strutture che si trovano in paesi in via di sviluppo (C. Afesi-Dei et al., 2023; A.M. Osman et al., 2023; M.R. Dihan et al., 2023; M. Habibur Rahman, 1999). Allo stesso tempo, sono numerosi gli studi condotti circa questa problematica visto che la produzione di rifiuti ospedalieri desta preoccupazione circa gli effetti sulla salute umana e ambientale e visto che la loro produzione sta aumentando con un tasso annuo di circa il 20%: aumento della popolazione anziana, medicinali, utilizzo di imballaggi a perdere (H.G. Mazzei and S. Specchia, 2023). È stato condotto uno studio relativo all'ospedale nella città di Malekan (Iran) nel 2020 utilizzando il modello di Simmons che prevedeva, come primo passo, un elenco dei problemi trovati durante la valutazione di

gestione dei rifiuti condotta presso l'ospedale stesso. Ad ogni problema è stata assegnata una priorità utilizzando, poi, una matrice di priorità. Da qui sono stati sviluppati undici interventi in sei mesi. Dopodiché il sistema di gestione è stato rivalutato: la produzione di rifiuti generici era scesa del 23.4% in peso, quella di rifiuti infettivi del 32.1% (S. Azami- Aghdash et al., 2023). Per quel che riguarda i paesi in via di sviluppo, di seguito due esempi. Nel caso dell'ospedale del Ghana, oltre a capire la quantità e tipologia dei rifiuti prodotti si è cercato di capire anche se gli operatori sanitari fossero a conoscenza delle politiche di gestione dei rifiuti sanitari e se erano stati sottoposti ad una formazione specifica. I dati sono stati raccolti sottoponendo i sanitari ad un questionario. Il risultato di questo studio ci dice che non è stata eseguita una separazione dei rifiuti rigorosa (C. Afesi- Dei et al., 2023). Un altro caso di studio preso in considerazione è quello dell'ospedale di Mulago, in Uganda. Oltre a determinare la quantità di rifiuti prodotti in trenta giorni si è soffermato sulla corretta raccolta dei rifiuti stessi. Ne è derivato che la conformità media dei rifiuti solidi è risultata piuttosto bassa, 37.4%, è che l'unità più "virtuosa" era la sala operatoria. Occorre sottolineare che la maggior parte dei rifiuti prodotti in una sala operatoria appartengono tutti alla stessa categoria (rifiuti sanitari) e quindi è più facile rispettare i criteri per una corretta raccolta dei rifiuti. Gli altri reparti hanno una produzione di rifiuti più varia

(A.M. Osman et al., 2023). Un altro esempio riguarda il periodo della pandemia: nella gestione dei rifiuti, il metodo più sicuro è stato il trattamento termico il quale, generalmente, porta alla completa distruzione degli agenti patogeni. La tecnologia di disinfezione consente di manipolare in maniera sicura i rifiuti. Tra queste tecnologie troviamo sicuramente l'incenerimento che è utilizzato, in genere, per grandi quantità di rifiuti (S. Dharmaraj, V. Ashokkumar, R. Pandiyan et al., 2021).

Dalla letteratura emerge un caso di studio relativo agli ospedali della Grecia: prende in considerazione la gestione dei rifiuti in un tipico ospedale greco con una capacità di 400-600 posti letto. Oggetto di monitoraggio sono state la segregazione, la raccolta, l'imballaggio, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento dei rifiuti. Le concentrazioni di BOD e COD e metalli pesanti sono state misurate, in questo caso, nelle acque reflue generate dall'ospedale. Sono state osservate omissioni e negligenze in ogni fase del sistema di gestione in particolare per il trattamento dei rifiuti infetti. Anche le procedure di raccolta e trasporto sono risultate inadeguate al punto tale di mettere a rischio la salute degli operatori sanitari e dei pazienti. Il peso maggiore spetta, però, ad una errata segregazione dei rifiuti con conseguente aumento dei rifiuti infetti e relativo aumento dei costi. In particolare, la produzione di questi rifiuti è stata stimata utilizzando due metodi: il primo pesando i rifiuti inceneriti, circa 880

kg/giorno e l'altro stimando il numero di sacchi di rifiuti prodotti ogni giorno pari circa a 650 kg/giorno. Inoltre, è stata rilevata la tossicità delle acque in tutti i campioni prelevati. Per sopperire alle lacune presenti in tutte le fasi, causate in primo luogo dall'incuria del personale, attraverso questo studio sono state fatte delle proposte migliorative su come investire sulla formazione del personale circa la segregazione dei rifiuti e l'inserimento di sanzioni in caso di negligenza. Utilizzare contenitori che garantiscano impermeabilità, facili da maneggiare e pulire oppure adeguare la raccolta dei rifiuti in relazione alla loro produzione stessa evitando lunghi periodi di stoccaggio e incentivare il riciclaggio delle frazioni riciclabili. Attraverso queste linee guida l'amministrazione dell'ospedale garantirebbe un adeguato sistema di gestione e smaltimento dei rifiuti (M. Tsakona et al, 2007).

Un ultimo caso di studio si occupa di raggiungere una modellizzazione (utilizzando l'algoritmo di rilassamento di Lagrange) attraverso la quale definire la corretta posizione e il numero di ospedali da campo da posizionare secondo un determinato scenario che deriva da un evento sismico. Al fine di assumere la posizione peggiore, si è ignorato la presenza di ospedali attivi sul territorio. Uno degli obiettivi era anche la definizione del numero massimo di feriti per ogni scenario. Sono state considerate tre classi di gravità utilizzando la scala Mercalli e per ogni classe sono stati definiti gli impatti in termini di

perdite di vite umane e numero di edifici danneggiati. Dallo studio ne è derivato che gli ospedali da campo devono essere installati prevalentemente in giardini scolastici, centri sportivi e ricreativi, inoltre il numero di strutture campali aumentava via via che aumentava la gravità dell'evento sismico (tre codici di gravità). In seguito, sono stati dedotti anche i quantitativi di rifiuti sanitari moltiplicando il numero di strutture con i tassi produzione dei rifiuti: da 321.3 kg/giorno di rifiuti per il codice due di gravità fino a 668.5 kg/giorno per il codice massimo di gravità. Da questi dati è possibile ottenere il volume di rifiuti giornalieri e quindi capire i requisiti dell'area di stoccaggio dei rifiuti; area che può essere progettata prima, in base a questi dati, e garantire sia la pianificazione territoriale sia la salute pubblica (I. Macit, 2016). Ne deriva una letteratura ricca di informazioni circa i rifiuti prodotti a seguito di una emergenza. Ciò a cui non è possibile risalire sono le quantità prodotte in maniera dettagliata, salvo alcuni casi, modalità di trattamento ben descritte e dati che dimostrino l'efficacia del trattamento scelto. La letteratura sottolinea le criticità incontrate durante i vari studi e questo rappresenta un grande vantaggio: ciò consente di fare valutazioni preventive e di tentare nuovi "approcci" di contro dà poche o nulle informazioni circa i punti di forza di determinate procedure. Un punto fermo è la possibilità di poter assumere che i rifiuti di un ospedale da campo siano in tutto assimilabili a quelli ospedalieri.

Nella tabella (tab.2) seguente sono riportati dati sui rifiuti prodotti, strategie di gestione che derivano da emergenze, casi di studio.

Tabella 2. Studio dello stato dell'arte

Paese	Quantità rifiuti	Tipologie di rifiuti prodotti (classificazione)	Strategia di gestione (es. inceneritore)	Criticità	Punti di forza	Referenze	N.B.
Ghana	1.7kg/paziente/giorno (490.62kg/giorno)	57.48% rifiuti generici 33.98% rifiuti infettivi 8.54% rifiuti pericolosi	Rifiuti generici: discarica Rifiuti pericolosi: inceneriti o interrati	11% dei gestori dei rifiuti indossava i DPI . 77% dei gestori dei rifiuti ha riportato ferite da taglio .		<i>C. Afesi-Dei et al., 2023.</i>	Ospedale
Uganda	111.40 kg/giorno	72% rifiuti generici 28% rifiuti sanitari	Discarica, incenerimento, autoclave . Non specificato quali categorie di rifiuto a quale trattamento.	Dimensione contenitori per la raccolta dei rifiuti inadeguata.		<i>A.M. Osman et al., 2023.</i>	Ospedale di Mulago
Bangladesh	3.4 kg/letto/giorno (14500 tonnellate aprile 2020) 248 ton/giorno rifiuti prodotti			Solo il 14% dei rifiuti è stato trattato in modo adeguato.		<i>M.R. Dihan et al., 2023.</i>	Ospedali Riferito al periodo COVID.
Bangladesh	1-2.6 kg/letto/giorno	15-35% rifiuti pericolosi sul totale	Il 44% dei rifiuti sanitari gestiti da una ditta che si occupa di raccolta di materiali infettivi, plastici e taglienti. I rifiuti infetti trattati in autoclave (135-140°C a 3 atm di pressione per 45 minuti) poi inceneriti e le ceneri sepolte. I rifiuti taglienti sterilizzati in autoclave e interrati. I rifiuti plastici			<i>M.R. Dihan et al., 2023.</i>	

			sottoposti a disinfezione chimica con NaOCl e Cl ₂ , triturazione e riciclaggio. I rifiuti altamente infettivi trattati in inceneritori a due camere, con temperature minime di esercizio rispettivamente 850°C e 1050°C. La cenere che si forma e le parti anatomiche provenienti dalle sale operatorie vengono infine smaltite con interrimento profondo nel calcestruzzo.				
Dhaka City, Bangladesh	1.2kg/letto/giorno (è un valore medio). Rifiuti pericolosi: 15.5%. Rifiuti non pericolosi: 76-90% Rifiuti infetti: 5-16% Rifiuti taglienti: 2-6% Rifiuti patologici: 1-3%.	Rifiuti non pericolosi: materiali di imballaggio, non infettivi, rifiuti di tipo domestico. Rifiuti pericolosi: rifiuti infettivi, patologici, taglienti, rifiuti farmaceutici e chimici.	I rifiuti non pericolosi possono essere smaltiti come rifiuti solidi urbani dopo un'attenta raccolta differenziata. Rifiuti pericolosi invece vengono sottoposti a disinfezione chimica, sterilizzazione in autoclave e incenerimento . L'incenerimento è il trattamento più utilizzato.	Controllo dell'inquinamento atmosferico.		<i>M. Habibur Rahman et al., 1999.</i>	ospedale
Ospedali di Teheran	1750 kg rifiuti solidi /letto/giorno Rifiuti non pericolosi: 54.13% Rifiuti infettivi: 46.43 % Rifiuti taglienti: 2.41%.			L' inadeguata raccolta differenziata ha portato a una grande produzione di rifiuti infettivi.		<i>M. Arab et al., 2008.</i>	ospedale
Generico		Medicinali, prodotti chimici, patologici,	Pirolisi	Riciclaggio temporaneo interrotto a causa della	Maggiore conformità agli standard sulle emissioni.	<i>S. Dharmaraj, et al. 2021.</i>	

		<p>infettivi metallici e taglienti, radioattivi. Aumento esagerato di rifiuti plastici (sacchetti di plastica, imballaggi, aumento acquisti on line, ...) pari al 44.8% mentre solo il 13.2 % per motivi medici.</p>		<p>pandemia accumulati nei cassonetti della raccolta rifiuti, discariche ma anche sui cigli delle strade.</p>	<p>Formazione di prodotti importanti a livello commerciale. Non si formano diossine. Temperature di esercizio più basse.</p>		
	321.3-688.5 kg/giorno				<p>Possibilità di risalire al volume dei rifiuti, quindi alle dimensioni delle aree di stoccaggio. Ciò porterebbe ad una adeguata pianificazione territoriale e salute pubblica.</p>	<p><i>l.Macit, 2016.</i></p>	<p>Modellizzazione matematica ospedale da campo</p>

1.4 Metodi di trattamento dei rifiuti

1.4.1 Pretrattamenti

Prima di essere inviati al trattamento scelto, i rifiuti vengono sottoposti a diverse tipologie di pretrattamento. Si tratta principalmente di processi meccanici come triturazione, pellettizzazione, frantumazione, macinazione ma anche separazione solido- liquido e agitazione. Questi trattamenti consentono di diminuire il volume dei rifiuti e facilitano i trattamenti chimici o termici perché aumenta la superficie specifica della parte solida. Il processo più utilizzato è la triturazione attraverso la quale è possibile ridurre il volume fino all'80%. La pellettizzazione invece compatta i rifiuti in particelle regolari: aumenta la densità, abbassa il contenuto di umidità, aumenta il potere calorifico e facilita la conservazione. La scelta del pretrattamento dipenderà dal tipo di trattamento scelto (H.G. Mazzei et al., 2023). Quanto detto vale per inceneritori o impianti di trattamento in genere, tradizionali ossia non portatili. Da ricerche effettuate sia in letteratura sia sul *web* non risultano informazioni circa questa pratica. Ci sono trituratori e macinatori adatti all'installazione presso aziende ospedaliere come pretrattamento ma non esistono in commercio trituratori o macinatori specifici per essere utilizzati in un ospedale da campo prima di inviare il rifiuto all'incenerimento e nemmeno casi in letteratura che dimostrano che effettivamente è stato anche solo testata una pratica di questo

genere. Tale aspetto potrebbe essere legato alle dimensioni dei trituratori, visto che anche gli inceneritori portatili devono avere determinate caratteristiche per poter essere movimentati oppure dovuto alla situazione di emergenza: trovare le postazioni per posizionare questi impianti, disponibilità di personale dedicato alla gestione dei dispositivi, possibilità di risolvere problematiche di funzionamento attraverso un'assistenza in loco o da remoto.

1.4.2 Trattamenti termici

Tra i metodi di trattamento da prendere in considerazione c'è sicuramente l'incenerimento. Visto che l'obiettivo dello studio è il trattamento dei rifiuti provenienti da un ospedale da campo, non si può considerare un inceneritore tradizionale installato, ad esempio, a livello comunale. Per quanto riguarda i rifiuti che dovrebbero essere smaltiti in una Struttura Sanitaria Campale, si potrebbe utilizzare un inceneritore temporaneo (portatile) costituito semplicemente da un vecchio bidone dell'olio da 200 litri (fig.7). Tuttavia è improbabile che questo sistema possa funzionare in maniera adeguata e sebbene possa ridurre il volume dei rifiuti da seppellire, tende a produrre emissioni di fumo

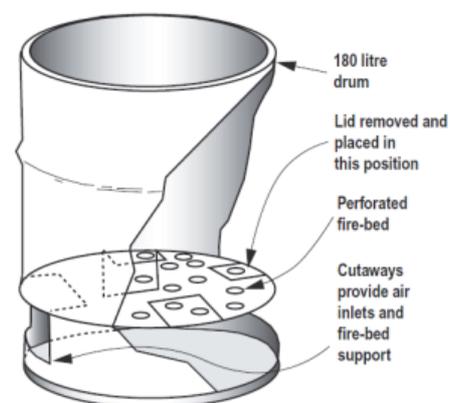


Figura 7: Inceneritore temporaneo (WHO, 2022)

nero e potrebbe ridurre solo parzialmente il rischio rappresentato dai rifiuti (WHO, 2002). L'alternativa in questo caso è rappresentata dagli inceneritori portatili i quali sono caratterizzati dall'essere trasportabili in nave o aereo. A differenza degli inceneritori di grandi dimensioni, le conoscenze sono molto limitate soprattutto per quel che riguarda le emissioni, e la relativa esposizione umana e ambientale, e certamente non si può parlare di recupero di energia, ma solo di incenerimento. Al giorno d'oggi, inceneritori di piccole dimensioni stanno diventando popolari nelle applicazioni marine, militari e ospedaliere ed esistono, addirittura, alcune applicazioni domestiche nei paesi in via di sviluppo. Quindi, l'attenzione dei costruttori è stata spostata anche sulla produzione di piccoli inceneritori. Studi condotti hanno sottolineato la preoccupazione nei confronti di questi inceneritori utilizzati prevalentemente nelle piccole aree rurali. L'obiettivo principale dell'incenerimento è la riduzione del volume dei rifiuti e anche la loro tossicità, tenendo sempre presente che resta il problema dello smaltimento delle ceneri. È stata pertanto realizzata una simulazione circa l'utilizzo di un inceneritore domestico da usare nelle campagne dell'Iran. L'attenzione è stata focalizzata sulla progettazione della geometria dell'inceneritore, sulla realizzazione della camera di combustione primaria (quella in cui viene bruciata la maggior parte dei rifiuti) e secondaria. Il tipo di rifiuto considerato è legato alla cultura iraniana per quel

che riguarda i rifiuti alimentari a cui si aggiunge carta, plastica, vetro. I parametri tenuti in considerazione sono stati appunto la geometria, la temperatura, la portata d'aria di raffreddamento, l'altezza del cumulo di rifiuti e la produzione di anidride carbonica, associata alla combustione. Sempre attraverso la simulazione è emerso che aumentando l'aria di raffreddamento, si riduce la pressione all'interno delle due camere, pertanto l'evacuazione dei gas di scarico risulta più rapida. Una maggiore quantità di aria di raffreddamento ha effetto anche sull'abbassamento della temperatura all'interno delle camere. Emerge, inoltre, che l'altezza dei rifiuti non influenza la pressione all'interno dell'inceneritore mentre si è notato che aumentando l'altezza dei rifiuti si riduce la temperatura totale all'interno della camera di combustione primaria. Altro parametro importante è la presenza di ossigeno in entrambe le camere; se carente nella seconda camera può comportare la produzione di sostanze inquinanti, motivo per cui occorre dosare bene l'ossigeno iniettato (M. Saffari Pour, 2020). Un altro studio sugli inceneritori mobili riguarda il periodo Covid in Cina. Per controllare meglio la pandemia il governo cinese ha costruito diversi ospedali da campo con conseguente aumento dei rifiuti sanitari. Da analisi statistiche emerge che la produzione di rifiuti prima della pandemia era di 0,7 kg/letto per arrivare a 3-5 kg/letto nell'ospedale da campo preso come oggetto di studio. La capacità di eliminare il Covid fu il fattore preponderante

per la scelta tecnologica del trattamento rifiuti. Il governo optò per l'utilizzo degli inceneritori portatili. Dopo il trattamento, il peso dei rifiuti sanitari era ridotto del 95% e trasformato in ceneri volatili e pesanti. L'obiettivo dello studio era proprio indagare le caratteristiche delle ceneri pesanti: valutare la loro composizione, le proprietà chimico- fisiche e la tossicità della loro lisciviazione. L'inceneritore portatile è stato fornito dall'università di Nanjing. Questo inceneritore portatile è composto da una camera indipendente e una griglia. La camera di combustione secondaria è posizionata dietro quella primaria e brucia sostanze organiche come la diossina nei gas di combustione. L'inceneritore è alimentato a cherosene. Tra le parti incombuste, il 9% è rappresentato da metalli e vetro. Nessuna traccia di Covid è stata rilevata dall'analisi delle ceneri. Si pensa che la dimensione delle particelle delle ceneri dipenda dalle caratteristiche dei rifiuti sanitari e dai parametri operativi dell'inceneritore come temperatura e tempo di permanenza. Il contenuto di umidità è compreso fra 1.07-1.87%. Dall'analisi risulta che le ceneri erano composte da ossido di calcio, silice, ossido di magnesio, cloro, ossido di alluminio. Con una concentrazione inferiore a 1g/kg sono stati rilevati rame, piombo, nichel. La presenza di un composto piuttosto che un altro è funzione del tipo di rifiuto introdotto nell'inceneritore. Secondo lo studio, le ceneri dovrebbero essere smaltite come rifiuti pericolosi in discarica secondo le

normative cinesi (J. Miao, 2022). Un altro studio invece si occupa proprio di inceneritori a piccola scala, includendo quegli impianti che hanno una portata compresa tra 12 e 100 kg rifiuti/ora. Considera un tipo di funzionamento batch (discontinuo) ossia i rifiuti sono caricati prima della combustione e le ceneri rimosse dopo il raffreddamento oppure di tipo intermittente con alimentazione continua o periodica dei rifiuti e rimozioni delle ceneri dopo il raffreddamento. Occorre considerare che nei paesi in via di sviluppo le risorse sono estremamente limitate e si procede ancora all'incenerimento, anche dei rifiuti sanitari, a cielo aperto con le conseguenti problematiche relative alle emissioni, disinfezione incompleta e denunce da parte della comunità. Al di là delle normative sempre più restrittive dei paesi occidentali circa le emissioni, nei paesi in via di sviluppo sono stati i governi stessi e l'UNICEF a promuovere l'utilizzo di inceneritori su piccola scala, in cui sono inclusi anche quelli portatili. Questi inceneritori possono funzionare da 1 e 6 ore a settimana o al mese in modalità batch o intermittente per distruggere oggetti taglienti e altri rifiuti sanitari. Se opportunamente gestiti e nuovi, possono raggiungere temperature operative fino a 700-800°C distruggendo la gran parte di rifiuti, ridurre diossine e furani nelle emissioni e nelle ceneri (S. Batterman, 2004). Ovviamente è una tipologia di trattamento di gran lunga superiore a quello che avveniva a cielo aperto e in fusti di acciaio. Risulta essere inoltre ben accettata

dalla popolazione. Come per gli inceneritori su grande scala, anche per quelli su piccola scala i problemi sono legati alle emissioni nelle matrici ambientali. I rifiuti sanitari sono caratterizzati dall'essere estremamente eterogenei. Si possono ritrovare inquinanti tradizionali della combustione come particolato, ossidi di zolfo, monossido di carbonio ma anche arsenico, piombo, cromo. I materiali che destano più preoccupazione sono il cloro, il mercurio e metalli pesanti in generale. Il cloro può portare alla formazione di diossina che può essere rilevata a chilometri di distanza. Una fonte di cloro per i rifiuti sanitari è la plastica polivinilcloruro (PVC) presente in dispositivi medici come guanti e sacche per il sangue. Una soluzione per ovviare questo problema potrebbe essere l'acquisto di dispositivi privi di PVC. È una sostanza che è stata classificata come cancerogena nel 1997 dalla IARC (International Agency for Research on Cancer). Può, inoltre, provocare alterazione del sistema riproduttivo e avere impatti negativi sul sistema immunitario (Global Healthcare Waste Project). Per cui, anche gli inceneritori su piccola scala possono emettere inquinanti gassosi in quantità significativa: se l'incenerimento dei rifiuti sanitari avviene in maniera scarsamente controllata sono fonte di diossine e furani (UNEP, 1999). Di fondamentale importanza, anche con l'utilizzo degli inceneritori portatili è la formazione degli operatori, il controllo del funzionamento e la manutenzione. Problemi di emissioni

possono derivare anche da un'errata costruzione dell'inceneritore, bassa temperatura di combustione, assenza di controlli sull'inquinamento e inadeguata separazione dei rifiuti prima del trattamento. È sicuramente buona norma decidere anche dove installare l'inceneritore portatile avendo cura di evitare un'esposizione diretta della popolazione e degli operatori che intervengono in un'emergenza, prediligendo zone aperte e lontane da vegetazione boschiva. Già nel 1990, l'EPA raccomandava l'utilizzo di sistemi di controllo dell'aria attraverso filtri, scrubber anche per gli inceneritori di piccola scala. Lo studio prevede che gli inceneritori su piccola scala non riusciranno mai a soddisfare i requisiti sulle emissioni moderne per inquinanti come monossido di carbonio, diossine, furani in quanto dovrebbero essere progettati per poter utilizzare apparecchiature che consentono il controllo degli inquinanti. Si tratta di tecnologie difficilmente adattabili agli inceneritori di piccola scala e a basso costo (S. Batterman, 2004). Lo studio afferma che questi inceneritori non hanno un controllo sulle emissioni, ma si tratta di uno studio non proprio recente e al momento non ci sono documenti che affermano il contrario. Inoltre, i dubbi sono legati anche alle emissioni di diossine e furani; facendo riferimento al funzionamento dei grandi inceneritori, si scongiura il pericolo della formazione di queste sostanze solamente con temperature superiori ai 1000-1200°C. Ad esempio l'inceneritore *Drug Terminator*,

descritto più avanti, raggiunge la temperatura di 1000°C. Non ci sono indicazioni su un eventuale pretrattamento dei rifiuti: se previsto o possibile vista la situazione di emergenza e se richiesto, da un punto di vista operativo, da un inceneritore di piccola scala.

1.4.2.1 Convenzione di Stoccolma

La convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POP) è stata adottata il 22/05/2001 ed è entrata in vigore il 17/05/2004. Molti paesi hanno aderito tra cui l'Unione Europea. Nasce dalla consapevolezza che gli inquinanti organici persistenti hanno proprietà tossiche per la salute umana e ambientale, si bioaccumulano negli ecosistemi terrestri e acquatici e vengono trasportati dall'aria, dall'acqua. Per cui il Programma delle Nazioni Unite ha avviato un'azione internazionale per la protezione della salute umana e dell'ambiente attraverso misure che riducono le emissioni e gli scarichi. Si tratta di accordi ambientali multi- laterali gestiti dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP). Mira a proteggere la salute umana limitando o eliminando la produzione, l'uso e la distribuzione degli inquinanti organici persistenti. L'articolo 5, in particolare, dice che i paesi devono adottare misure per ridurre ulteriormente l'emissione di diossine e furani *“con l'obiettivo della loro minimizzazione continua e, ove possibile, definitiva eliminazione”*. Per superare il problema di diossine e furani la convenzione afferma che

occorrerebbe dare “considerazione prioritaria” a processi alternativi che evitino la formazione e il rilascio di queste sostanze chimiche e altre emissioni pericolose. Le emissioni dovrebbero essere conformi alle norme nazionali e alle BAT (*Best Available Techniques*) e promuovere le migliori pratiche ambientali (BEP). Le linee guida BAT/BEP descrivono tecnologie alternative come quelle da calore frizionale. In seguito alla Convenzione di Stoccolma, le BAT hanno dato indicazioni circa il *layout* dell’inceneritore, emissioni in atmosfera, manutenzione periodica compresa la camera di combustione. Altre indicazioni sono state:

- Introduzione dei rifiuti ad una temperatura sempre superiore agli 850°C;
- Controllo apporto di ossigeno;
- Mantenere l’impianto a regime, evitando arresti e partenze;
- Tempo di permanenza minimo di 2 secondi a 1100°C nella seconda camera di combustione.

Ha fornito indicazioni importanti circa il trattamento delle ceneri: in particolare indicando tra i trattamenti quello catalitico e smaltimento in discariche dedicate. Misura in continuo di ossigeno, particolato, portate, temperature (Convenzione di Stoccolma, 2019). L’elenco delle sostanze si è ampliato negli anni tant’è che ci sono nuove sostanze in fase di valutazione. Devono essere, tuttavia, implementate le conoscenze e le azioni sulle capacità di monitoraggio,

sulla gestione dei rifiuti e sulla bonifica dei siti contaminati soprattutto nei paesi in via di sviluppo; costoro non dispongono di infrastrutture e competenze necessarie per gestire i rifiuti di POP o siti contaminati da POP (I. Sheriff et al., 2022). Ma del rispetto di tutte queste indicazioni non c'è traccia quando si parla di inceneritori portatili, anzi lo studio del paragrafo dei trattamenti termici (A. Batterman, 2004) dice esattamente il contrario: non c'è un controllo delle emissioni per quel che riguarda gli inceneritori portatili e l'utilizzo degli stessi è stato autorizzato da UNICEF e paesi interessati nei momenti di emergenza. Quel che è certo è che si tratta di uno studio non più così recente. Inoltre gli inceneritori di piccole dimensioni hanno limiti tecnici ancora più marcati, che determinano emissioni ancora più elevate di un'ampia gamma di inquinanti (Newster System Srl).

1.4.3 Trattamenti chimici e disinfezione

Esistono tecnologie che vengono utilizzate per lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti e per ridurre al minimo la trasmissione di infezioni e di agenti patogeni tra chi gestisce i rifiuti: si tratta dei trattamenti chimici e disinfezione a vapore. Infatti, al fine di minimizzare il potenziale rischio infettivo, i rifiuti sanitari debbono subire un trattamento di sterilizzazione prima di essere allontanati dai luoghi di produzione per avviarli a smaltimento. Se non fosse possibile, devono perlomeno essere sottoposti a un trattamento di disinfezione.

La sterilizzazione è un processo fisico o chimico in grado di eliminare qualsiasi forma vivente sporigena e asporigena. In ogni caso, vista la disomogeneità dei rifiuti, non è così improbabile trovare elementi non del tutto sterilizzati. Ciò che si ottiene sicuramente è un abbassamento della carica microbica. Si utilizza l'azione del calore, a secco e/o ad umido; quest'ultimo dà risultati migliori perché consente di abbattere facilmente i microorganismi attraverso un calore umido (vapore). Le temperature operative oscillano tra i 160°C e i 190°C. Il tempo richiesto va da un'ora a due ore e mezza. Si tratta di un'autoclave dotata di più porte per il carico/scarico dei rifiuti. Operativamente parlando, i rifiuti vengono immessi in appositi contenitori, i quali devono consentire al vapore di raggiungere i rifiuti. Poi si procede, attraverso fasi pulsate, all'estrazione dell'aria e immissione di calore; questa pratica consente di preriscaldare i rifiuti e rimuovere l'aria dagli interstizi. Infatti l'aria è una cattiva conduttrice di calore ed è fondamentale che venga rimossa prima di procedere alla sterilizzazione. Dopodiché, inizia la fase di riscaldamento vero e proprio con l'immissione di vapore saturo fino al raggiungimento della temperatura operativa. I parametri che regolano questo processo sono la temperatura, la pressione e il tempo di esposizione; in particolare per ogni temperatura esiste un tempo ottimale di esposizione. Il numero di microorganismi sopravvissuti diminuisce in modo esponenziale con la durata del riscaldamento. In ogni caso,

non è possibile specificare una temperatura alla quale una data sospensione di microrganismi sia completamente uccisa. Le autoclavi sono predisposte su due valori di temperatura: 121 °C e 134 °C. I tempi di sterilizzazione a livello europeo sono 15-20 minuti a 121°C e 6-8 minuti a 134°C. In realtà, studi condotti dicono che sono valori temporali troppo bassi per assicurare una buona sterilizzazione dei rifiuti sanitari e che devono essere sottoposti perlomeno ad un tempo di esposizione di 90 minuti a 121 °C affinché le spore di un batterio (*B. stearothermophilus*) preso come indicatore risultano inattivate. Sempre attraverso uno studio è stato accertato che in seguito ad un autoclavaggio di 45 minuti tutti i batteri presenti nei rifiuti vengono distrutti. Ovviamente aumentando la temperatura di autoclavaggio diminuisce il tempo di esposizione: sempre prendendo come riferimento il batterio indicatore le sue spore vengono inattivate dopo 15 minuti a 126°C. Nonostante queste indicazioni, nel quotidiano, per questo tipo di processo non risulta necessario assicurare l'eliminazione di tutte le spore batteriche. È preferibile selezionare un tempo per il ciclo di sterilizzazione in autoclave al fine di ottenere la distruzione delle forme patogene vegetative e dei batteri sporigeni, ma non le spore di *B. Stearothermophilus*. Infatti i batteri sporigeni presenti nei rifiuti sono a bassa patogenicità e trasmissibilità, sono presenti in abbondanza nell'ambiente senza

avere connessione con eventuali malattie. Per cui si consigliano le seguenti temperature e tempi di esposizione (L. Musmeci, settembre 2005):

- 121°C per 40-45 minuti;
- 134°C per 15-20 minuti.

L'efficienza della sterilizzazione dipende dai seguenti parametri (H.G. Mazzei et al., 2023):

- Temperatura;
- Forza di penetrazione del vapore;
- Durata;
- Pressione di sterilizzazione;
- Composizione, densità, contenuto di liquido.

Questo metodo richiede notevoli quantitativi di energia e produce gas tossici e liquidi i quali rilasciano odori: è necessario un ulteriore trattamento di depurazione per evitare il rilascio di patogeni nell'aria. Le emissioni volatili si producono quando non c'è una corretta separazione dei rifiuti alla fonte con relative perdite di composti tossici. Non produce diossine (H.G. Mazzei et al., 2023).

Un'alternativa è la sterilizzazione a microonde, ancora in fase di sperimentazione. È considerato un metodo di smaltimento ecologico. È stato

realizzato attraverso un sistema di trasporto a coclea (fig.8) per la sterilizzazione a microonde in grado di funzionare in continuo.

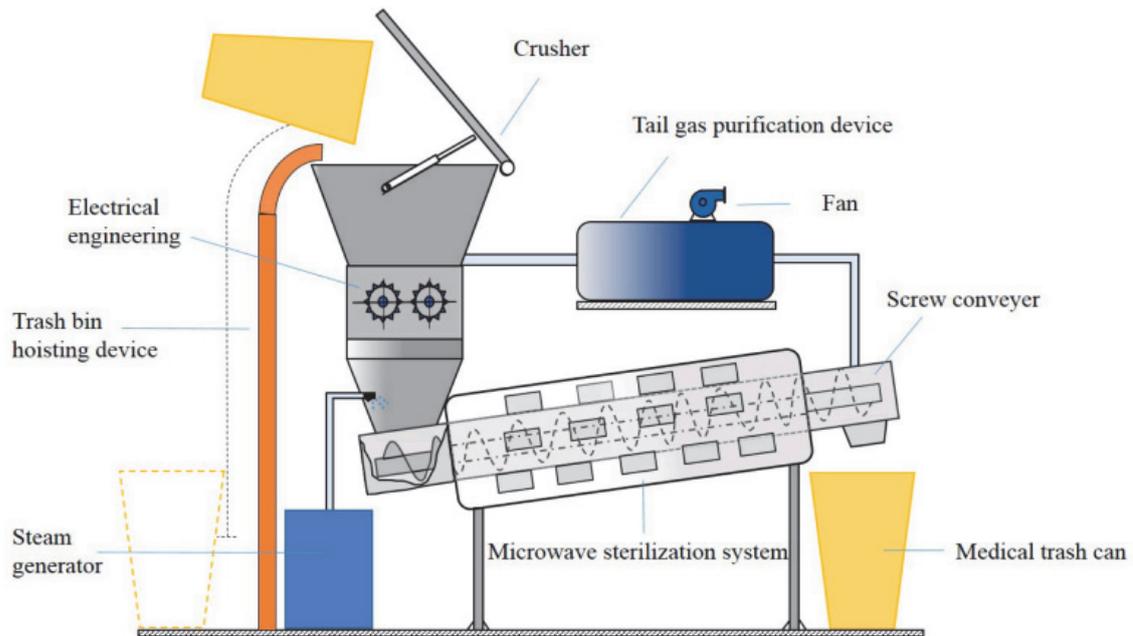


Figura 8: Sterilizzatore a microonde (sperimentale)

È presente un sensore per la misura della temperatura del vapore e del materiale in uscita. Questo metodo è stato sottoposto a test e il tasso di sterilizzazione è stato calcolato in base al numero di colonie dopo la coltura. I risultati dimostrano che ciò che influenza i risultati del processo sono: il tempo di sterilizzazione, la potenza del microonde e il tasso di umidità. I vantaggi sono che: non produce diossine, il funzionamento è semplice, l'effetto di sterilizzazione è eccellente e c'è un risparmio sul consumo energetico (J. Liu et al., 2022). Per aumentare l'efficacia del trattamento, è bene tritare il rifiuto.

Non deve essere utilizzato per rifiuti chimici o farmaceutici pericolosi, nemmeno per oggetti metallici (H.G. Mazzei et al., 2023).

Come già detto a inizio paragrafo, se non è possibile procedere a sterilizzazione, i rifiuti devono essere sottoposti perlomeno a disinfezione. Questa tecnica consente di minimizzare la presenza di microrganismi patogeni attraverso l'utilizzo di agenti chimici o fisici (L. Musmeci, settembre 2005).

Si tratta di disinfettanti come (tab.3):

Tabella 3: Disinfettanti utilizzati per la disinfezione e relative proprietà biocide

Disinfettanti	Funghi	Batteri	Micobatteri	Spore	Virus
Alcol etilico	-	+++	+++	-	+
Fenoli	+++	+++	++	+	
Formaldeide	+++	+++	++++	+++ ^(a)	+
Gluteraldeide	+++	+++	+++	+++ ^(b)	+
Iodofori	+++	+++	+++	+	+
Ipocloriti	+	+++	++	++	+

(a) sopra i 20° C

(b) sopra i 40° C

++++ottima +++buona ++discreta +scarsa -nulla

La concentrazione e la temperatura del disinfettante sono i parametri più importanti del processo. I disinfettanti vengono suddivisi tra quelli a base di cloro e non. L'ipoclorito di sodio è stato uno dei primi prodotti chimici utilizzati per il trattamento dei rifiuti sanitari. Ma le diossine e i composti aromatici clorurati vengono rilasciati al momento dell'utilizzo dell'ipoclorito di sodio. È un disinfettante valido per batteri, virus e spore. Tra quelli senza cloro, c'è il perossido di idrogeno (H.G. Mazzei et al., 2023). Occorre fare attenzione alla

tossicità dei disinfettanti utilizzati; ad esempio la formaldeide che è etichettata come pericolosa. Nel 2004 la IARC l'ha inserita tra i composti cancerogeni per cui l'OMS raccomanda una bassa esposizione (Ministero della Salute, 2015).

Capitolo 2

LO STUDIO DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE CON METODO

LCA

2.1 Metodo Life Cycle Assessment

La Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment – LCA) fa parte di quegli strumenti di natura metodologica messi a punto per consentire, con interventi di natura prettamente preventiva, uno sviluppo sostenibile. Il ciclo di vita di un prodotto, di un servizio o di una qualsiasi attività umana viene infatti esaminato “dalla culla alla tomba” attraverso la compilazione di un inventario dei flussi in ingresso (materiali, energia, risorse naturali) e in uscita (emissioni in aria, acqua, suolo) dal sistema, la valutazione di impatti potenziali associati al reperimento di materie prime ed energia, passando dal consumo fino allo smaltimento considerando, in definitiva, l'intero ciclo di vita individuando le possibili linee e aree di intervento. La caratteristica fondamentale di questa metodologia è costituita dal modo innovativo di affrontare l'analisi dei sistemi industriali: dall'approccio tipico che privilegia lo studio separato dei singoli elementi dei processi produttivi, si passa ad una visione globale del sistema produttivo, in cui tutti i processi di trasformazione, a partire dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento dei prodotti a fine vita, sono presi in considerazione in quanto partecipano alla realizzazione della funzione per la

quale essi sono progettati. È a partire dai primi anni '70 che è possibile trovare i primi esempi di analisi del ciclo di vita, utilizzati soprattutto da alcune grandi aziende statunitensi e dall'agenzia per la protezione dell'ambiente americana (US-EPA) come supporto alle decisioni di sviluppo strategico. Il termine LCA, in realtà, viene coniato solo durante il congresso SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) di Smuggler Notch (Vermont – USA) del 1990, per meglio caratterizzare l'obiettivo delle analisi fino allora svolte sotto il nome di REPA (Resource and Environmental Profile Analysis). Venne definito come *“un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trasporto delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale”*.

A livello normativo le norme quadro che regolamentano la struttura, i principi, le modalità di applicazione e le linee guida per l'analisi del ciclo di vita tramite LCA (fig.9) sono:

- UNI EN ISO 14040:2006: Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Principi e quadro di riferimento;

- UNI EN ISO 14044:2018: Valutazione del ciclo di vita, Definizione e Linee guida.

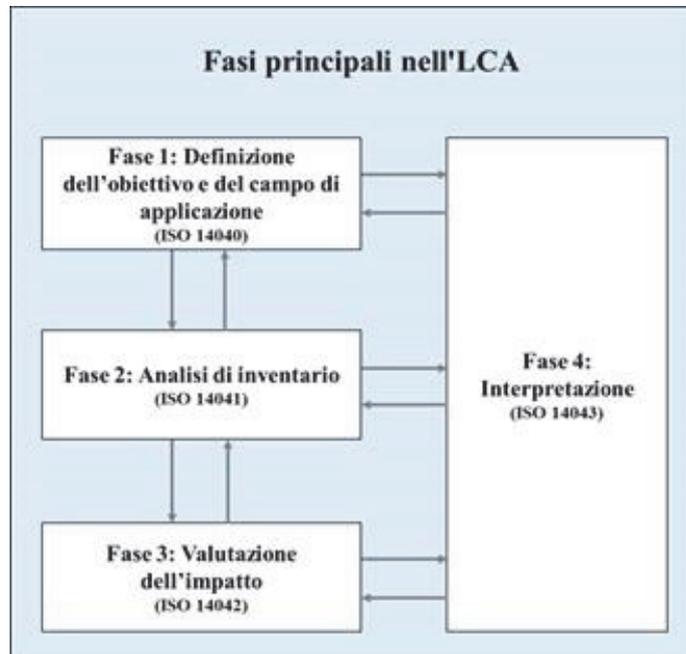


Figura 9: LCA

Il Life Cycle Assessment può aiutare a:

- Identificare le opportunità per migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti in vari punti del loro ciclo vitale;
- Individuare gli indicatori di prestazione ambientale;
- Guidare la progettazione di nuovi prodotti/processi al fine di minimizzare l'impatto ambientale;
- Fornire una base informativa scientifica alla comunicazione esterna e all'informazione dei consumatori.

Come descritto dalla norma UNI EN ISO 14040:2006 la struttura LCA si suddivide in quattro fasi fondamentali:

1. Definizione dell'obiettivo e dello scopo: quali prodotti si studiano, l'unità funzionale, i confini del sistema, le assunzioni e i limiti; l'applicazione prevista e le motivazioni, infine a chi saranno indirizzati i risultati ottenuti dall'analisi;
2. Analisi dell'Inventario (Life Cycle Inventory, LCI): consiste nella raccolta dei dati e nelle procedure di calcolo di bilanci di flussi in ingresso e in uscita rilevanti di un sistema di prodotto in accordo all'obiettivo e al campo di applicazione;
3. Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment, LCIA): valutazione dei potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell'analisi di inventario del ciclo di vita;
4. Interpretazione dei risultati (Life Cycle Interpretation): procedimento finale che permette di riepilogare e valutare i risultati ottenuti nelle fasi precedenti. Si pone come base per la formulazione di conclusioni, raccomandazioni e decisioni su miglioramenti da poter applicare al fine di ridurre l'impatto ambientale.

2.2 Metodo LCA applicato alla gestione dei rifiuti

Attualmente la metodologia LCA è sempre più considerata non solo dalle singole aziende ma anche a livello istituzionale all'interno delle politiche di sviluppo nazionali ed europee. Metodologia nata per valutare gli impatti ambientali dei prodotti e dei processi produttivi, successivamente tale procedura è stata applicata in maniera estesa a tutte le attività umane che comportano interazione con l'ambiente, in particolare alle attività connesse con la gestione dei rifiuti e come strumento di supporto nella pianificazione strategica di sistemi di gestione integrata dei rifiuti. È stata applicata non solo ai prodotti, ma anche ai servizi, compresi i servizi legati alla gestione dei rifiuti (L. Rigamonti et al., 2017). La gestione dei rifiuti può infatti essere considerata come un sistema autonomo, i cui input sono costituiti dagli scarti delle attività umane e produttive e i cui output sono le emissioni finali nell'ambiente (solide, liquide e gassose) e i nuovi prodotti utili (es. materiali riciclati, energia, compost). La gestione dei rifiuti è un sistema complesso, costituito da una grande varietà di processi e dai relativi flussi di massa, di energia, di consumo di risorse e di rilasci nell'ambiente. Ciò comporta la necessità di isolare il sistema rifiuti da quello dei prodotti. Lo scopo è quindi di ottimizzare sia dal punto di vista tecnologico che gestionale il sistema nella sua globalità. I confini del sistema in una LCA applicata alla gestione dei rifiuti devono comprendere

tutte le operazioni che avvengono all'interno del sistema di gestione stesso, quali raccolta, trasporto, trattamento e smaltimento finale. Tale sistema è detto *foreground system* (Clift et al., 2000) o sistema principale e gli impatti ad esso associati sono denominati “impatti (o carichi) diretti”. Essi includono, ad esempio, le emissioni atmosferiche dai veicoli utilizzati per il trasporto dei rifiuti e quelle da processi di termovalorizzazione. Oltre che del sistema principale bisogna tenere conto anche delle attività che con questo scambiano materiali ed energia. Tali processi, che vengono definiti di *background*, sono ad esempio l'approvvigionamento di energia elettrica e di combustibili: questi determinano delle emissioni e dell'uso di risorse che vengono definiti “impatti (o carichi) indiretti”. Infine, spesso negli studi di LCA relativi alla gestione dei rifiuti i casi di multi-funzionalità (che si hanno nel momento in cui trattando il rifiuto allo stesso tempo produco nuovi materiali / energia utile) vengono risolti utilizzando il metodo di “espansione dei confini del sistema con sostituzione” (Finnveden et al., 2009; EC-JRC, 2010). Di conseguenza, si hanno dei processi sostitutivi, ovvero processi che sostituiscono altri processi, esterni al ciclo dei rifiuti ma che, a pieno titolo, devono rientrare all'interno dei confini del sistema. Tra questi si collocano, in modo particolare:

- il recupero di energia (ad es. da impianti di incenerimento, da combustione di biogas in discarica, da digestione anaerobica), che

consente di evitare i carichi e i costi ambientali associati alla produzione di una pari quantità di energia;

- il recupero di materia (es. processi di riciclaggio e di compostaggio), che consente di evitare i carichi e i costi ambientali associati con il processo di produzione a base di materie prime vergini che viene sostituito. I carichi ambientali associati alle attività del sistema sostituite dal recupero di materiali ed energia dai rifiuti sono definiti “crediti ambientali” e vanno conteggiati con segno negativo. Il bilancio totale di ciascun flusso (ad es. emissione di CO₂) ed impatto (ad es. in termini di riscaldamento globale oppure di tossicità umana) può quindi avere segno positivo o negativo: un segno negativo sta ad indicare che i benefici associati alle attività di recupero di materia ed energia che avvengono all'interno del sistema di gestione rifiuti compensano e superano gli impatti aggiunti nell'ambiente dal sistema stesso. Negli ultimi anni è stato registrato un numero sempre crescente di studi di LCA applicata alla gestione dei rifiuti (Laurent et al., 2014), sia urbani sia di altra tipologia.

Capitolo 3

SCOPO DELLA TESI

Considerata l'enorme problematica della gestione dei rifiuti di un ospedale da campo, occorre prestare molta attenzione a causa della loro tossicità, della presenza di taglienti e del fatto che si tratta di rifiuti potenzialmente infetti. Per cui è emerso come sia necessaria l'identificazione di un trattamento/pretrattamento che possa costituire un'alternativa all'attuale classica "buca in cui incenerire tutto quanto". È evidente che una situazione di emergenza presenta tutta una serie di criticità dovute proprio all'emergenza stessa, alla ricchezza del paese in cui si interviene, alla presenza di sistemi di gestione di rifiuti più o meno strutturati ed efficaci (e ancora attivi dopo l'evento che ha causato l'emergenza), alle condizioni igienico- sanitarie ma anche climatiche; in tutto ciò spesso gli aspetti ambientali vengono sottovalutati o totalmente ignorati. In questo contesto, la presente tesi mira a studiare due differenti scenari alternativi di trattamento dei rifiuti presenti in un ospedale da campo per identificare quello più ambientalmente sostenibile. Per questo motivo si prevede la realizzazione di due scenari relativi rispettivamente ad un inceneritore portatile e ad uno sterilizzatore portatile. La logistica rappresenta un fattore fondamentale: il dispositivo scelto dovrà essere trasportabile anche per via aerea o navale, motivo per cui va considerato l'ingombro, il peso e il

volume e che sussistano le condizioni per il trasporto. Per cui la scelta di un'apparecchiatura piuttosto che un'altra dipende anche da questi parametri. Il forte interesse per l'argomento, considerando la tutela della salute umana e ambientale, è confermato anche dal WHO (World Health Organization) che ha espresso dubbi circa le emissioni provocate dagli inceneritori portatili: infatti le strutture campali e i macchinari utilizzati, come ad esempio gli inceneritori portatili, vengono esaminati da certificatori che appartengono al meccanismo unionale di protezione civile, incaricati dal WHO, i quali in base alle loro esperienze raccolgono osservazioni e criticità successivamente sottoposte all'organismo delle Nazioni Unite. Attualmente non esistono documenti al riguardo, sarà compito del WHO emanare linee guida circa le criticità delle strutture campali e i dispositivi utilizzati per il trattamento dei rifiuti come gli inceneritori. Gli inceneritori portatili, di cui si parla da circa un decennio, non sono stati utilizzati fino ad ora ma solamente testati durante alcune esercitazioni dalle quali è stato confermato il superamento degli standard sulle emissioni rispetto agli standard europei. Il presente studio potrebbe quindi fornire delle indicazioni a supporto delle scelte future nella gestione dei rifiuti prodotti dalle strutture campali installate in emergenza.

Capitolo 4

MATERIALI E METODI

4.1 Scelte tecnologiche

La presente sezione descrive i sistemi selezionati per gli scenari oggetto dello studio, lo statunitense *Drug Terminator* (per l'incenerimento) l'italiano *Sanifyco 19* per la sterilizzazione dei rifiuti provenienti dalla struttura campale.

Inceneritore *Drug Terminator*

Per quel che riguarda l'inceneritore, è un sistema prodotto da un'azienda statunitense, ELASTEC, la quale distribuisce i suoi prodotti in 155 paesi. L'azienda mira, attraverso i suoi dispositivi, alla riduzione dell'inquinamento delle acque superficiali e a mantenere puliti i corsi d'acqua; in particolare vengono impiegati per fuoriuscite di petrolio, materiali galleggianti, detriti, limo, sedimenti e farmaci (ELASTEC). È utilizzato anche per piccole strutture ed è un inceneritore portatile (fig.10) che ha il vantaggio di trattare droghe, strumentazioni e farmaci e di sterilizzare gli oggetti taglienti. È utilizzato in campi militari. Inoltre, può smaltire documenti, piante, cibo e altre sostanze non pericolose. Molto semplice e sicuro da utilizzare e da trasportare. È un inceneritore ciclonico con una combustione pulita e senza fumo. È un sistema a carico discontinuo, si collega ad un fusto di acciaio a testa aperta da 208 litri.

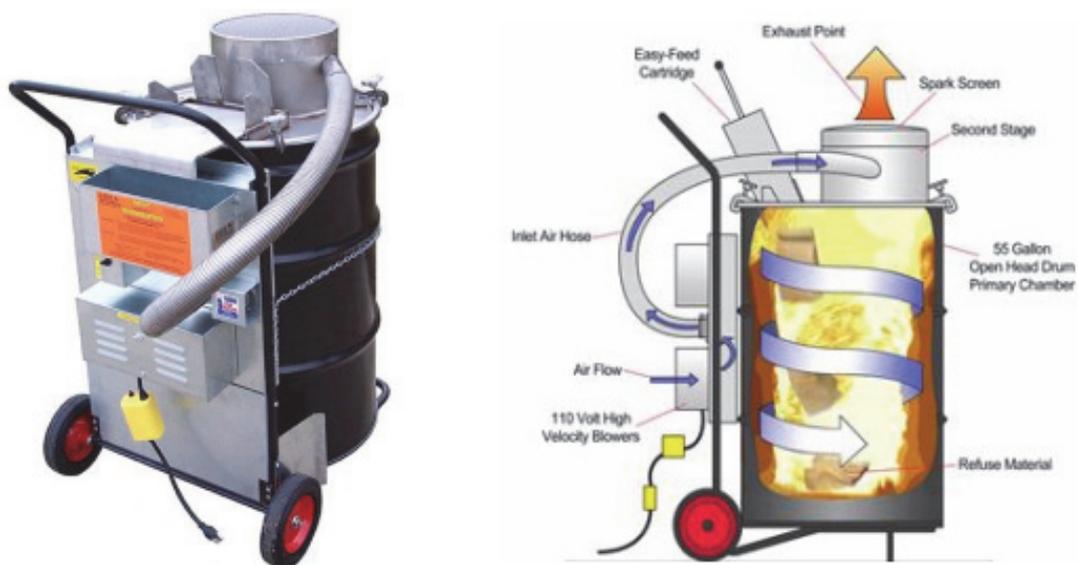


Figura 10: Drug Terminator e relativo funzionamento

È alimentato con legna o carbone (fig.11), il materiale introdotto viene eliminato rapidamente e completamente, lasciando circa un 20% di cenere.



Figura 11 Innesco della combustione del Drug Terminator

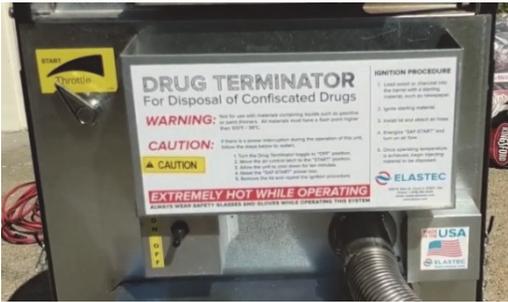


Figura 12: Leva acceleratore combustione



Figura 13: Leva accensione

I rifiuti vengono introdotti nell'inceneritore per mezzo di una cartuccia *Easy-Feed*, una volta che si è generato il fuoco all'interno del tamburo.



Figura 14: Inserimento cartuccia Easy Feed

Per mezzo di ventilatori elettrici ad alta velocità, si crea un ciclone di calore molto intenso. Questo vortice riduce il materiale bruciato in un piccolo cumulo di ceneri con emissioni atmosferiche minime. Il dispositivo rilascia del fumo iniziale a causa della combustione della legna ed emissioni in atmosfera dovute all'incenerimento. È possibile bruciare anche documenti attraverso un accessorio che si inserisce nel tamburo il quale garantisce l'incenerimento completo di carta e documenti.

Procedura di funzionamento:

- si attiva il *Drug Terminator*, si attende l'innesco;
- si collega il dispositivo a una presa da 120 (o 220) Volt, attraverso un cavo elettrico montato posteriormente e schermato;
- si blocca il coperchio in acciaio inossidabile sul fusto;
- si carica la cartuccia *Easy-Feed* con farmaci e altri materiali da distruggere;
- si introducono tali materiali nel coperchio del *Drug Terminator*.



Il calore, crea una combustione “pulita” e che disintegra i materiali di scarto con un residuo (di cenere) compreso tra il 3% (se presenti solo farmaci o documenti) e il 20% (con un rifiuto medio ospedaliero).

Figura 15: Residuo

Per poter lavorare necessita:

- di un kit che permette anche l'incenerimento di carichi umidi (garze, teli contaminati da fluidi biologici), iniettando olio esausto nella canna durante il ciclo di combustione (tale opzione non è stata inclusa negli scenari presi in esame).



Figura 16: Oil Away

- di una speciale cartuccia di alimentazione che accelera il processo di inserimento di materiali, rifiuti e farmaci da bruciare. L'inserimento avviene all'interno della canna. Quando non c'è la cartuccia, l'inceneritore è chiuso da un pesante lembo in acciaio inossidabile a chiusura automatica.



Figura 17: Easy-feed Cartridge

Attraverso la cartuccia Easy- Feed è possibile caricare altro carbone, quando il carburante è in esaurimento. È sempre opportuno proteggere dagli agenti atmosferici (pioggia, umidità) l'inceneritore, per evitare che le componenti arrugginiscano. *Drug Terminator* è in acciaio inox, dotato di un supporto

rialzato per proteggere il pavimento dal calore e di una valvola per la regolazione del flusso d'aria. Al momento dell'acquisto, il dispositivo è già pronto per essere utilizzato perché completo di tutto il necessario, tranne del combustibile (legna o carbone).

Sintesi caratteristiche

Nella tabella sottostante (tab.4) sono elencate le caratteristiche tecniche dell'inceneritore portatile. Considera un consumo di elettricità media per ciclo di 45 minuti. Il consumo elettrico è legato al funzionamento dei ventilatori elettrici. Deve essere sottoposto a manutenzione costante da parte dell'utilizzatore; i filtri dell'aria devono essere puliti prima di ogni utilizzo e oliati i morsetti della canna.

Tabella 4 Caratteristiche costruttive *Drug Terminator*

Materiale componenti	<i>Acciaio inox</i>
Velocità di combustione media (kg/h)	22
Richiesta elettrica (V)	<i>120 (220 optional)</i>
Consumo elettrico	<i>0,8 kWh</i>
Tipo di carburante	<i>Legna/carbone</i>

	<i>9 kg carbone, l'unità lavora per 25-30 minuti.</i>
Altezza (m)	<i>1,17</i>
Peso (kg)	<i>113</i>
Ingombro (m)	<i>0,91x0,66, tamburo compreso</i>
Durata unità	<i>10 anni con manutenzione regolare</i>

SANIFYCO 19

Un'azienda italiana, Newster System Srl, si occupa della produzione di unità di trattamento per i rifiuti utilizzabili anche durante le emergenze. Mira a trovare soluzioni efficaci attraverso processi di sterilizzazione che garantiscano la minimizzazione dei rischi ai quali si incorre durante la manipolazione, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento.

I suoi prodotti sono:

- GREEN- GO che si occupa della sterilizzazione della linea solida. È un'unità di veloce installazione, che può essere trasportata anche in elicottero e può trattare rifiuti provenienti da 150 posti letto in ospedali da campo militare. È stato realizzato appositamente per la sterilizzazione dei rifiuti prodotti in campi militari. Previene l'inquinamento

- ambientale, i cattivi odori e i rischi biologici per il personale; riduzione la quantità e il volume dei rifiuti, mantenendoli sterili fino a 28 giorni;
- SANIFYCO19 è un'unità preassemblata che impiega due processi brevettati: *Frictional Heat Treatment* e *Safe Water Treatment*. Può essere impiegato per il trattamento di rifiuti solidi e liquidi in caso di emergenze epidemiche; ha l'obiettivo di evitare la diffusione di agenti patogeni. È costituito da un container che ospita una macchina NW5 o NW15 per il trattamento di rifiuti solidi sanitari e da un secondo container che contiene la macchina SWT per il trattamento delle acque reflue infette (non oggetto del presente studio). Ogni container è dotato di attacchi per l'alimentazione elettrica e idrica e delle tubazioni necessarie al carico/scarico. Il prodotto in uscita ha la caratteristica di non essere infettivo ed è assimilabile ad un rifiuto urbano. Le acque che escono dal trattamento possono essere scaricate in fognatura. Può trattare una quantità di rifiuti proveniente da circa 150-300 posti letti e attivabile entro 24h dall'arrivo sul luogo in cui è stanziato l'ospedale da campo;

Il dispositivo scelto ai fini di questa tesi è SANIFYCO 19, il quale è utilizzato per scopi civili. È una tipologia di impianto adatta all'installazione presso strutture ospedaliere, ospedali da campo, aree di soccorso in emergenza. È un macchinario pensato per essere acceso e spento all'occorrenza, quindi è

necessaria la presenza di rete elettrica o di un generatore.

Il processo oggetto di questa tesi è **NEWSTER FRICTIONAL HEAT TREATMENT (NW5 o NW15)**, che avviene all'interno di una camera di sterilizzazione chiusa, in pressione negativa, senza comportare rischi per l'ambiente e l'operatore. Non richiede l'utilizzo di prodotti chimici. Durante il ciclo, la temperatura viene misurata in tempo reale attraverso misuratori. La durata dell'esposizione al calore e i parametri di processo vengono controllati attraverso un Controllore Logico Programmabile (PLC). L'avvenuta sterilizzazione è comprovata attraverso analisi di laboratorio sul residuo.

Nella tabella (tab.5) le specifiche tecniche del processo:

Tabella 5 Specifiche tecniche Newster Frictional Heat Treatment (Newster System Srl)

Technical Specifications		newster. NW5	newster. NW15
Sterilization method		Frictional Heat Treatment (Unpressurized moist heat)	
Heating method		by impact and friction of the waste	
Processing potential		15 kg/h ¹ 240 lt/h	30/40 kg/h ¹ 340 lt/h
External aspect of treated waste		Homogenous small-sized granules	
Final volume of treated waste		20-25% of initial volume	
Final weight of treated waste		70-75% of initial weight	
Sterilization vessel volume		Roughly 100 liters Ø = 480 mm, H = 550 mm	Roughly 170 liters Ø = 500 mm, H = 856 mm
Overall control system		Programmable logic controller (PLC)	
Temperature measurement		By variable-resistance sensors	
Cycle recording		Time-temperature flow recording	
Final cooling		Roughly 90C* through H ₂ O evaporation	Roughly 95C* through H ₂ O evaporation
Dust abatement		In humid environment	
Vessel lid closure		Manual, mechanical blocking and double safety device	
Safety devices		Mechanical blocking system of sterilization vessel lid; power supply to main engine is cut off in case of lid blocking failure. Low voltage command and control panel with automatic power cut-off if panels are open; electrical resistor heating system to be used in case of emergency stop	
Rotating blades and fixed contrblades		Made of special metal alloys	
H₂O Consumption		Roughly 60 lt/h Roughly 50 lt/day with water recycling system (optional)	Roughly 75 lt/h Roughly 50 lt/day with water recycling system (optional)
Water discharge (diameter sewer pipe equipped with a trap)		40 mm	
Power consumption		overall max 20 kW average 13 kW/h	overall max 30 kW average 18 kW/h
Size and weight	Sterilizer	80 x 160 x 130 cm	100 x 200 x 160 cm
	Filter group	80 x 35 x 110 cm	incorporated or separated
	Electrical board	60 x 45 x 120 cm	50 x 80 x 160 cm
	Control panel	-	-
	Master switch	-	-
	Total weight	740 kg	1060 kg
<i>1 - Depending on the percentage of humidity and density</i>		<i>* Excluding handling</i>	

The above specifications are intended for information purposes only and may be subject to change without prior notice.

Un altro processo, appartenente sempre a *Sanifyco 19*, escluso fin da subito nella presente tesi ma oggetto di studi futuri (poiché il presente lavoro si concentra sul trattamento dei rifiuti solidi), è **INFECTIOUS SEWAGE WATER TREATMENT (SWT)**: l'impianto è progettato al fine di essere installato presso gli ospedali urbani e quelli privi di collegamento con il sistema fognario e impianti di trattamento delle acque reflue. Il sistema di disinfezione è dedicato al trattamento delle acque che provengono dai reparti di malattie infettive, sale operatorie, terapia intensiva ed emodialisi. Garantisce il trattamento meccanico e la disinfezione chimica finale delle acque reflue senza produrre fanghi potenzialmente infettivi grazie all'utilizzo dell'acido peracetico come disinfettante.

Tabella 6 Specifiche tecniche Infectious Sewage Water Treatment (Newster System Srl)

Technical Specifications

newster. **SWT**

General characteristics

Maximum capacity	6 m ³ /h
Total power used	25 kW
Grinding tank / Separator tank	185 x 110 x 160 cm
Separator	220 x 110 x 170 cm
Electric board	100 x 450 x 120 cm

Vertical axis submersible grinder

Treatment capacity	6 m ³ /h
Motor power	2 x 5,5 kW
Max. diameter grinded solids	10 mm
Blade material	Special steel

Transfer pump, centrifugal model

Capacity	6 m ³ /h
Motor power	4x1,1 kW

Separator

Motor power	0,5 kW
-------------	--------

Reagents

Disinfectant (Paracetic acid 15%)**	0,05-0,2 g/l
pH controller (Soda 30%)**	0,02 - 0,08 g/l

The system is designed with two redundant work lines.

The technical specifications are intended for a single line.

** The real consumption depends on the wastewater characteristics

Il funzionamento è automatico, per cui non richiede la presenza costante di un operatore. Il personale deve occuparsi del trasporto dei rifiuti, dei controlli periodici e di riempire il serbatoio del disinfettante.

I vantaggi che derivano dall'utilizzo di SANIFYCO-19 sono:

- ✓ Trattamento di 10 metri cubi di acque reflue ogni ora;
- ✓ Sterilizzazione certificata attraverso un report finale e l'utilizzo di test colorimetrici;
- ✓ Impianto già preassemblato;
- ✓ Rimozione rischio biologico dalle acque reflue attraverso il processo SWT;
- ✓ Riduzione del volume iniziale dei rifiuti solidi fino al 75% e del 25% del peso iniziale dei rifiuti solidi attraverso il processo NW5/NW15.

Di tutti i prodotti descritti, si prende in considerazione Sanifyco- 19 NW5.

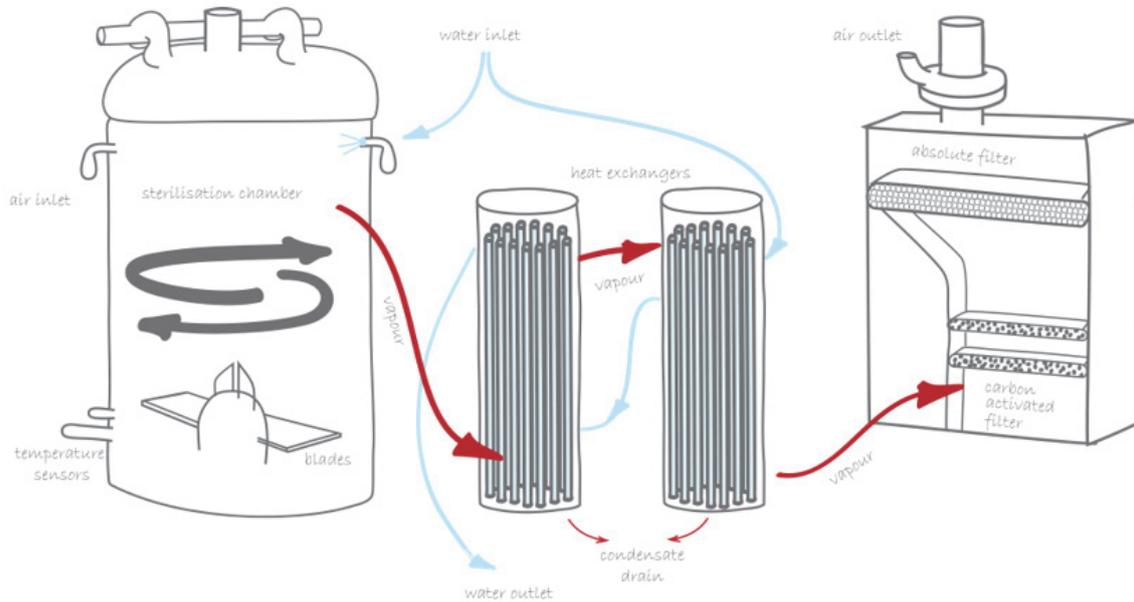


Figura 18: Sterilizzatore Newster serie NW

È un trattamento termico per attrito che non rientra in una tecnologia di combustione ma basata sul vapore. Occorre sottolineare che raggiunge una temperatura di 150°C, molto inferiore a quella della camera di combustione di inceneritori medio-piccoli. Questo trattamento si basa sulla frizione e macinazione dei rifiuti in un ambiente umido. Il processo avviene all'interno di una camera mediante un rotore ad alta velocità. Durante il ciclo, il continuo urto e attrito dei rifiuti contro le lame rotanti provoca la produzione di calore. La temperatura arriva a 150°C e viene mantenuta tale per il tempo necessario alla sterilizzazione ossia un'inattivazione microbica. Quando la temperatura raggiunge i 100°C inizia l'evaporazione del liquido. Il vapore viene condensato

attraverso scambiatori di calore aria/acqua e l'acqua condensata scaricata ne sistema fognario senza alcun rischio biologico. L'aria residua viene filtrata per evitare il rilascio di emissioni di gas pericolosi una volta scaricata in atmosfera: passa attraverso due strati di filtri a carboni attivi e poi attraverso un filtro HEPA che trattiene fino a 99.99%. Il residuo (fig.19), che deriva anche da una macinazione all'interno del macchinario, è un prodotto appunto secco e irriconoscibile con un volume ridotto.

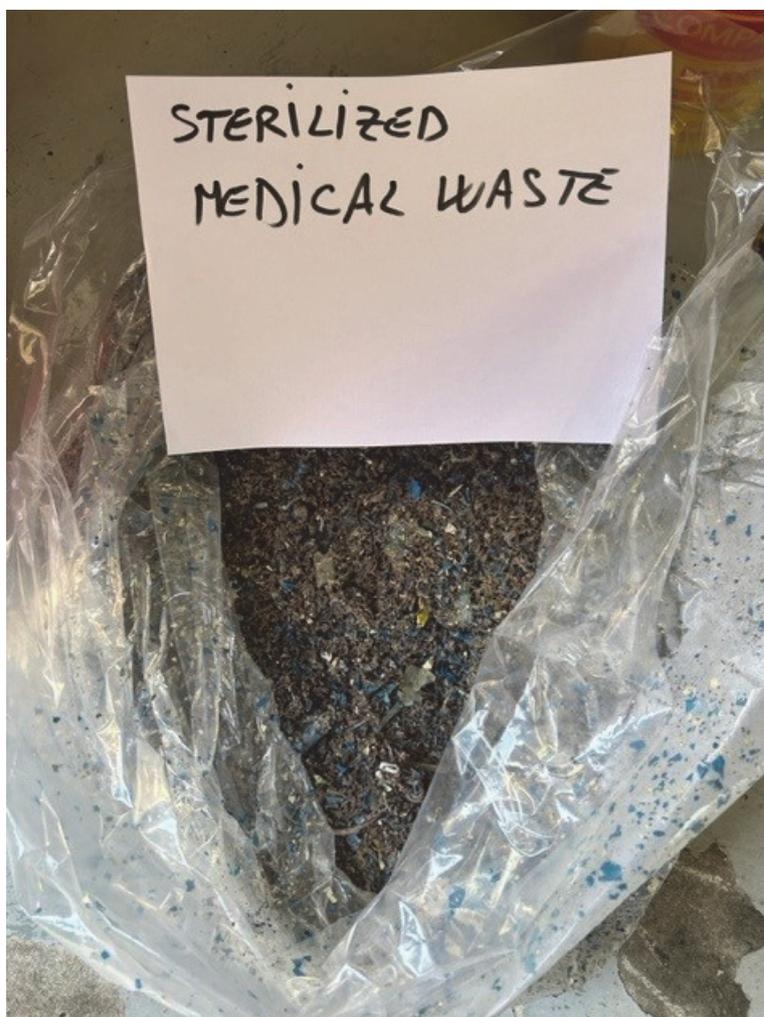


Figura 19: Rifiuto in uscita dallo sterilizzatore (Newster System)

4.2 Software e metodi

Ai fini dell'analisi di sostenibilità ambientale, è necessario utilizzare software specifici i cui database forniscono i dati unitari per ogni flusso in input e output; in questo studio è stato utilizzato LCA for Expert. È un *software* per la valutazione del ciclo di vita per la sostenibilità di prodotti e servizi. In particolare, per procedere all'analisi di sostenibilità ambientale, si fa riferimento ai documenti guida prodotti dall' *European Commission Joint Research Centre* (EU-JRC), come l' *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*. Il metodo di quantificazione degli impatti cui il database utilizzato fa riferimento è l'Environmental Footprint 3.0, sia per le fasi di classificazione e caratterizzazione che per quelle di normalizzazione e pesatura; questo metodo si basa su 16 categorie di impatto che quantificano gli effetti sull'ambiente (8 categorie), sulla salute umana (4 categorie) e sull'esaurimento delle risorse (4 categorie) con l'intento di includere il più ampio spettro di problematiche potenzialmente causate da ciascuna filiera. Questo metodo si basa sulla raccomandazione 2013/179/UE della Commissione Europea che ha introdotto così le Product and Organization-Environmental Footprint (PEF ed OEF) per quantificare l'impatto nel ciclo di vita di prodotti ed organizzazioni.

Capitolo 5

ANALISI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE

5.1 Definizione dell'unità funzionale e dei confini del sistema

Per procedere allo studio di sostenibilità tramite metodo LCA, occorre identificare l'unità funzionale ossia l'unità di riferimento per quantificare il rendimento di un sistema costituito da un insieme di processi con associati flussi di materia ed energia.

UNITA' FUNZIONALE	1 kg di rifiuto sanitario proveniente da un ospedale da campo
-------------------	---

Pertanto, tutti i dati in ingresso fanno riferimento a questo quantitativo, di conseguenza anche quelli in uscita.

Il rifiuto che entra nei due dispositivi è caratterizzato dall'essere eterogeneo, ossia non ha subito processi di segregazione vista la situazione di emergenza a cui si fa riferimento. Inoltre, è un rifiuto che entra nei dispositivi tal quale, ossia senza aver subito pretrattamenti.

Questa fase si compone della definizione dei confini del sistema (fig.20) e degli scenari oggetto di studio. Attraverso la loro definizione si stabilisce quali siano le unità di processo da inserire all'interno dell'analisi quindi definire i flussi in ingresso e uscita ottenuti attraverso bilanci di materia ed energia. Viene rappresentato esclusivamente a livello grafico attraverso diagrammi di flusso

nei quali sono rappresentati i processi, le relazioni tra i processi e input e output di materia ed energia. Tutto ciò che resta al di fuori dei confini del sistema non viene preso in considerazione.

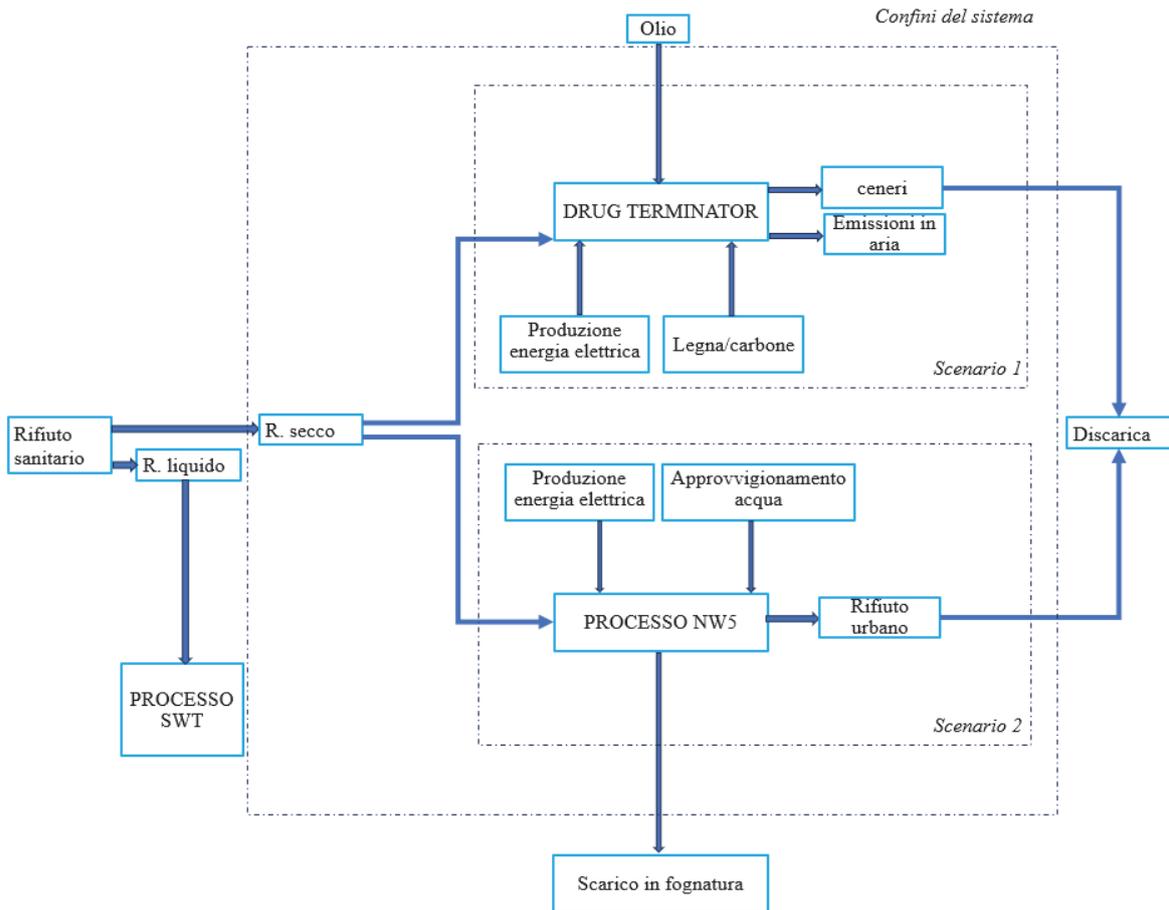


Figura 20: Confini del sistema

Criteri di cut-off

Come mostrato dalla figura 20, si considera solo il rifiuto secco. Pertanto, la linea dei rifiuti liquidi, e il relativo trattamento possibile attraverso l'unità di sterilizzazione (processo SWT), è stata lasciata fuori dai confini del sistema.

Per lo stesso motivo non viene inserito all'interno dei confini del sistema nemmeno il kit del Drug Terminator necessario al trattamento dei rifiuti umidi: infatti l'olio, necessario alla combustione dei suddetti rifiuti, non viene preso in considerazione.

5.2 Life Cycle Inventory (LCI)

È l'analisi dell'inventario, ossia la raccolta di tutti i dati necessari per poter calcolare i flussi di materia ed energia in ingresso e uscita riferiti al sistema oggetto di studio. Per cui si procede a valutare il consumo di materie prime e risorse energetiche e dei carichi ambientali intesi come emissioni di inquinanti nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

In questa tesi si considerano due scenari: trattamento termico e trattamento di sterilizzazione. Non sono previsti pretrattamenti vista la situazione di emergenza che si sta valutando.

Nella tabella sottostante i dati di input e output relativi al trattamento termico (scenario 1) e al trattamento di sterilizzazione (scenario 2).

Tabella 7 Bilanci di materia e di energia utilizzati ai fini dello svolgimento dell'LCA		
	Input	Output
Scenario 1- trattamento termico		
Combustibile (kg)	0,82	
Energia elettrica (KWh)	0,04	
Ghisa (kg)	0,0018	
Acciaio (kg)	0,0036	
Carta (kg)	0,000013	
Rame (kg)	0,000035	
Gomma (kg)	0,000040	
Silicone (kg)	0,000026	
Residuo solido in discarica- ceneri (kg)		0,20
Emissioni CO ₂ (kg)		0,0011
Emissioni CO ₂ da combustibile (kg)		2,1
Consumabili (kg)		0,0034
Scenario 2- trattamento di sterilizzazione		
Approvvigionamento acqua (kg)	3,50	
Energia elettrica (KWh)	0,63	
Ghisa (kg)	0,0018	
Acciaio (kg)	0,0036	
Carta (kg)	0,000012	
Rame (kg)	0,000035	

Gomma (kg)	0,000040	
Silicone (kg)	0,000026	
Residuo solido in discarica (kg)		0,80
Consumabili (kg)		0,0034
Refluo acquoso in fognatura		3,7

Lo scenario 1 riguarda l'utilizzo dell'inceneritore portatile *Drug Terminator* ai fini dello studio. Si considera che un ciclo di trattamento dei rifiuti abbia una durata di 45 minuti. Tutto il rifiuto viene caricato all'interno del *Drug Terminator* per mezzo di una particolare cartuccia, una volta avviata la combustione. I prodotti, come si evince dalla tabella, sono ceneri, emissioni e consumabili.

Assunzioni scenario 1

In merito alle ceneri, nonostante le indicazioni della casa costruttrice che le dichiara pari all' 1-3 % in peso, si assume una quantità pari al 20 % in peso rispetto al rifiuto in ingresso. Questa scelta è dovuta al fatto che le emissioni indicate dal produttore fanno riferimento alla combustione di farmaci, i quali contengono prevalentemente composti organici e plastiche, mentre nel caso di studio si brucia un rifiuto eterogeneo. Inoltre, la casa costruttrice dichiara che le emissioni in aria sono legate esclusivamente all'accensione del dispositivo:

vista l'assenza di un sistema di abbattimento “strutturato” (sono presenti solo dei filtri, probabilmente per il solo particolato all'interno del sistema) si è deciso di assumere un valore di emissioni che proviene dalla letteratura. Anche e soprattutto con inceneritori di piccola taglia, infatti, i problemi maggiori sono legati alla produzione di diossine e furani generati dalla combustione di rifiuti che contengono cloro. Le diossine e furani sono bioaccumulabili e tossici. Per quel che riguarda i dati disponibili relativi alle emissioni generate da questo tipo di inceneritori, che non dispongono di un sistema di abbattimento delle emissioni in aria, si è fatto riferimento alla tabella sottostante (EMEP-EEA, 2019):

Tabella 8 Emissioni di inceneritori senza sistemi di abbattimento (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019)

Tier 2 emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	5.C.1.b.iii	Clinical waste incineration (d)			
Fuel	NA				
SNAP (if applicable)	090207	Incineration of hospital wastes			
Technologies/Practices	Controlled air incineration				
Region or regional conditions	United States				
Abatement technologies	uncontrolled				
Not applicable					
Not estimated	NH ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , Se, Zn, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	1.8	kg/Mg waste	1.4	2.1	US EPA (1993)
CO	1.5	kg/Mg waste	1.2	1.8	US EPA (1993)
NMVOC	0.7	kg/Mg waste	0.3	1.4	Aasestad (2007)
SO ₂	1.1	kg/Mg waste	0.7	1.5	US EPA (1993)
TSP	2.3	kg/Mg waste	1.4	3.3	US EPA (1993)
BC ²	2.3	% of TSP [*]	1.8	2.8	Olmez et al. (1988)
Pb	36	g/Mg waste	20	50	US EPA (1993)
Cd	3	g/Mg waste	2	4	US EPA (1993)
Hg	54	g/Mg waste	27	100	US EPA (1993)
As	0.1	g/Mg waste	0.06	0.14	US EPA (1993)
Cr	0.4	g/Mg waste	0.24	0.56	US EPA (1993)
Cu	6	g/Mg waste	0.6	60	US EPA (1993)
Ni	0.3	g/Mg waste	0.18	0.42	US EPA (1993)
PCB	0.02	g/Mg waste	0.002	0.2	US EPA (1993)
PCDD/F	40	mg I-TEQ/Mg waste	20	80	UNEP (2005)
Total 4 PAHs	0.04	mg/Mg waste	0.02	0.1	Aasestad (2007)
HCB	0.1	g/Mg waste	0.01	0.9	EMEP/EEA (2006)

Note: * Olmez et al. (1988) provides the BC emission factor both as 3.5 % of PM_{2.5} and 2.3 % of TSP, the latter is chosen for this table since no emission factor for PM₁₀ is available.

Per poter calcolare le emissioni di CO₂ dell'incenerimento e quelle provenienti dalla combustione del carbone sono state fatte delle assunzioni facendo riferimento a documenti appartenenti a fonti come il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, ISPRA e ARPA.

Emissioni CO₂ carbone

Da un documento del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica è emerso un fattore di conversione pari a 2,5 kg CO₂/kg di carbone (tabella parametri standard nazionali, ISPRA 2001).

$$2,5 \text{ kg CO}_2/\text{kg carbone} \times 0,82 \text{ kg di carbone} = 2,05 \text{ kg CO}_2$$

Emissioni CO₂ incenerimento

In questo caso, sempre per poter fare delle assunzioni, da un documento dell'ARPA del 2008 è emerso che c'è un rapporto tra CO e CO₂ pari a 6. Per cui partendo dal valore di CO della tabella 8 si è ricavato il valore della CO₂ (Emissioni in Lombardia ripartite per macrosettore, ARPA 2008).

$$0,00019 \text{ kg/kg rifiuto} \times 6 = 0,00114 \text{ kg CO}_2$$

Lo scenario 2 prevede l'utilizzo dell'unità di sterilizzazione NW5. Sulla base delle indicazioni dettagliate del produttore, si considera che il ciclo di

trattamento abbia una durata di 30 minuti. In questo trattamento entra il rifiuto, il quale dopo essere stato macinato, viene portato ad una temperatura di 150°C, ne esce un prodotto disidratato.

Assunzioni scenario 2

In questo tipo di trattamento non si considerano le emissioni in quanto tutto il trattamento avviene in acqua. Da analisi condotte sulle emissioni prima di essere liberate in atmosfera, mediante fiale a carbone attivo, risulta che i parametri valutati sono conformi ai limiti di legge italiani e sono molto più basse di quelle di un inceneritore medio- piccolo. L'impianto ha la possibilità di prevedere un ricircolo dell'acqua all'interno dell'unità: non viene preso in considerazione. La ghisa, l'acciaio, la carta, il rame, la gomma e il silicone sono materiali consumabili relativi ad entrambi i dispositivi. I valori inseriti in tabella sono quelli stimati da Newster System S.r.l per lo sterilizzatore e sono stati assunti uguali per entrambe le apparecchiature. Ad essere precisi un inceneritore è costituito anche da materiali refrattari che non sono stati considerati perché il costruttore non ha fornito informazioni in merito.

5.3 Risultati e discussione

Terminata l'analisi dell'inventario, si prosegue con la valutazione dell'impatto del ciclo di vita (Life Cycle Impact Assessment- LCIA) attraverso la quale si effettua una valutazione dell'impatto ambientale provocato dal processo o dall'attività in esame quantificandone gli effetti a seguito dei rilasci nell'ambiente. Lo scopo è evidenziare l'entità delle modifiche ambientali che si generano in conseguenza dei rilasci nell'ambiente, in termini di emissioni o reflui, e del consumo di risorse. È necessario convertire i dati che provengono dall'analisi di inventario, in misure di impatto che consentono di valutare gli effetti ambientali in differenti categorie. Tutti i dati raccolti sono trasformati in categorie di impatto sulla base delle quali si formulano le valutazioni. Questa analisi si compone di classificazione e caratterizzazione e normalizzazione e pesatura.

5.3.1 Classificazione e caratterizzazione

Si procede a identificare e quantificare gli impatti sull'ambiente, la salute umana e il consumo delle risorse che derivano dagli scenari in esame, conseguenza dei consumi di materia ed energia indicati nei confini del sistema. Tale operazione è possibile individuando le categorie di impatto riconducibili a tre grandi macroaree: esaurimento delle risorse (uso del suolo, uso delle risorse energetiche e uso delle risorse- minerali e metalli), salute umana (effetti

cancerogeni sulla salute umana, effetti non cancerogeni sulla salute umana, radiazioni ionizzanti per la salute umana) e conservazione dell'ambiente (cambiamenti climatici, riduzione dell'ozono, formazione di ozono fotochimico, acidificazione terrestre e delle acque dolci, eutrofizzazione, ecotossicità delle acque dolci, contaminanti inorganici dannosi per le vie respiratorie). La scelta delle categorie deve ricadere su quelle riconosciute a livello internazionale, che interessino le situazioni ambientali del sistema in oggetto e scientificamente valide. In particolare, quelle rappresentate nei risultati fanno riferimento a quelle indicate dal metodo EF 3.0 (Development Environmental Footprint).

Attraverso la classificazione si assegna una o più categoria ai dati raccolti; nello specifico ad ogni flusso del sistema di prodotto, calcolato nell'analisi; ha una valenza qualitativa. La caratterizzazione, da un punto di vista operativo, consiste in una moltiplicazione tra i flussi di input/output e il fattore di caratterizzazione proprio di ogni categoria; ha quindi una valenza quantitativa attraverso la quale si procede all'aggregazione degli effetti ambientali all'interno delle categorie d'impatto prescelte. Si basano su conoscenze scientifiche acquisite e si ottiene un indicatore per ogni categoria. In uscita si otterranno dei profili ambientali rappresentati attraverso grafici. Per ogni grafico, e quindi per ogni tipo di impatto valutato, è possibile vedere

gli apporti relativi allo scenario 1 (inceneritore) e allo scenario 2 (sterilizzatore). Il contributo denominato combustione include tutte le emissioni stimate e calcolate derivanti dal funzionamento del *Drug Terminator* (incluse quelle legate all'uso del carbone, selezionato come combustibile). Dall'analisi complessiva, l'inceneritore risulta essere lo scenario peggiore per più del 60% delle 16 categorie prese in considerazione. Tale aspetto risulta essere legato prevalentemente alla combustione soprattutto per quel che riguarda gli effetti sulla salute, l'eutrofizzazione delle acque dolci, marine e terrestri e sul cambiamento climatico: come già accennato sopra la combustione include tutte le emissioni che derivano dalla combustione del carbone più quella del rifiuto. Un effetto non trascurabile è da imputare al combustibile probabilmente dovuto agli impatti legati all'estrazione e alla produzione del carbone.

Nella fig.9 sono riportati i risultati della classificazione e caratterizzazione in cui si “traduce” ciò che entra ed esce nei due scenari in impatti ambientali. Di seguito si riporta la descrizione dettagliata dei vari contributi sulle singole categorie di impatto.

La categoria **acidificazione** prende in considerazione l'abbassamento del pH in atmosfera o in acqua che può causare la mortalità della fauna ittica, danni ai beni artistici e alla vegetazione e può avere ripercussioni sulla salute umana.

Le sorgenti antropiche che la causano sono la combustione finalizzata alla produzione di energia elettrica o di calore. L'aumento della concentrazione di ioni H^+ si può verificare con la presenza di una sostanza acida o quando la sostanza reagisce per diventare acida. Le sostanze considerate in grado di provocare acidificazione sono il biossido di zolfo, biossido di azoto, ammoniaca per citarne alcune (ENEA, 1999). In questo caso l'impatto maggiore è associato all'inceneritore, in particolare provocata proprio dalla combustione che incide per circa un 60% e il restante è dovuta principalmente all'uso del carbone (e quindi alla sua produzione) mentre per la sterilizzazione l'impatto maggiore è dato dalla fornitura di energia elettrica. Per il **cambiamento climatico** si fa riferimento al riscaldamento globale; l'unità di riferimento sono infatti i kg CO_2 eq. e prende in considerazione tutti quei gas (CH_4 , CO_2 , NO_2) che sono responsabili di bloccare il passaggio della radiazione infrarossa perché altamente assorbenti. Ciò provoca un disturbo all'equilibrio termico del pianeta. Il contributo viene calcolato considerando la capacità di assorbimento dell'infrarosso e il tempo di vita in atmosfera (ENEA, 1999). Il valore utilizzato, fornito dal software LCA for Expert, è totale ossia comprende al suo interno le origini dei gas serra (fossili, biogenici), ma anche uso del suolo e cambiamento di uso del suolo. A questo punto risulta evidente il motivo per cui l'impatto maggiore è dato dalla combustione di combustibili fossili

(carbone) e rifiuti, dalla quale si sprigionano sicuramente anidride carbonica, ossidi di azoto e ossidi di zolfo, responsabili del riscaldamento terrestre. L'impatto della combustione dell'inceneritore impatta circa per un 80% sui cambiamenti climatici. Non risulta trascurabile nemmeno l'impatto dello sterilizzatore legato prevalentemente alla produzione di energia elettrica, e quindi relativa alla fonte alla quale si attinge, e allo smaltimento in discarica. Le discariche producono quantità elevate di metano. Parlando delle categorie ad **effetto tossico** la distinzione che deve essere fatta è tra ecotossicità e tossicità umana. Per definire il fattore di equivalenza, che consente di confrontare effetti provenienti da sostanze differenti, si tiene conto dei tempi, delle vie di esposizione e della tipologia di effetti provocati. I fattori di equivalenza devono garantire le basi per un confronto diretto tra sostanze diverse all'interno di ogni categoria (ENEA, 1999). Nel caso in oggetto è stata considerata **un'ecotossicità totale** che comprende al suo interno composti organici, inorganici e metalli. Per quel che riguarda la **tossicità umana**, una sostanza è ritenuta in grado di dare un contributo significativo alla salute umana se è dimostrato essere pericolosa per l'uomo: tossicità, capacità di bioaccumularsi nei tessuti dell'uomo e nelle fonti di cibo nonché l'esposizione. L'ecotossicità e la tossicità umana sono legate alla presenza di benzene, cromo, cobalto, etanolo, ferro, piombo e mercurio per citarne alcuni (ENEA, 1999).

Come si può osservare dai grafici sia per l'ecotossicità sia per la tossicità umana, l'impatto maggiore è dato dall'incenerimento in particolare dal processo di combustione e dalla presenza del carbone come combustibile. Se si osserva, ad esempio, l'ecotossicità in acqua dolce si può notare che l'impatto è attribuibile per metà alla combustione e per l'altra metà al combustibile, più piccoli contributi (energia elettrica e smaltimento in discarica) che in proporzione possono essere considerati trascurabili. Per quel che riguarda ad esempio la tossicità umana, per spiegare questo risultato, basta pensare che tra le emissioni c'è sicuramente la presenza di gas tossici come il monossido di carbonio che può provocare disturbi come cefalea e disorientamento e il biossido di zolfo che provoca effetti irritanti agli occhi e al tratto superiore delle vie respiratorie (Ministero della Salute, 2015). Per lo sterilizzatore gli effetti di tossicità umana risultano ridotti e legati ad una tossicità umana non cancerogena. Risultato differente invece, per l'ecotossicità in acqua dolce dove risulta un contributo non trascurabile a carico dello sterilizzatore portatile, ed è causato prevalentemente dalla richiesta di energia elettrica e quindi da tutti gli impatti legati alla sua produzione; infatti il valore dell'elettricità ricavato attraverso il database di software LCA for Expert , rappresenta un mix energetico europeo che tiene conto ad esempio della produzione di energia da fonte nucleare e da gas naturale per citarne alcuni. È bene considerare che

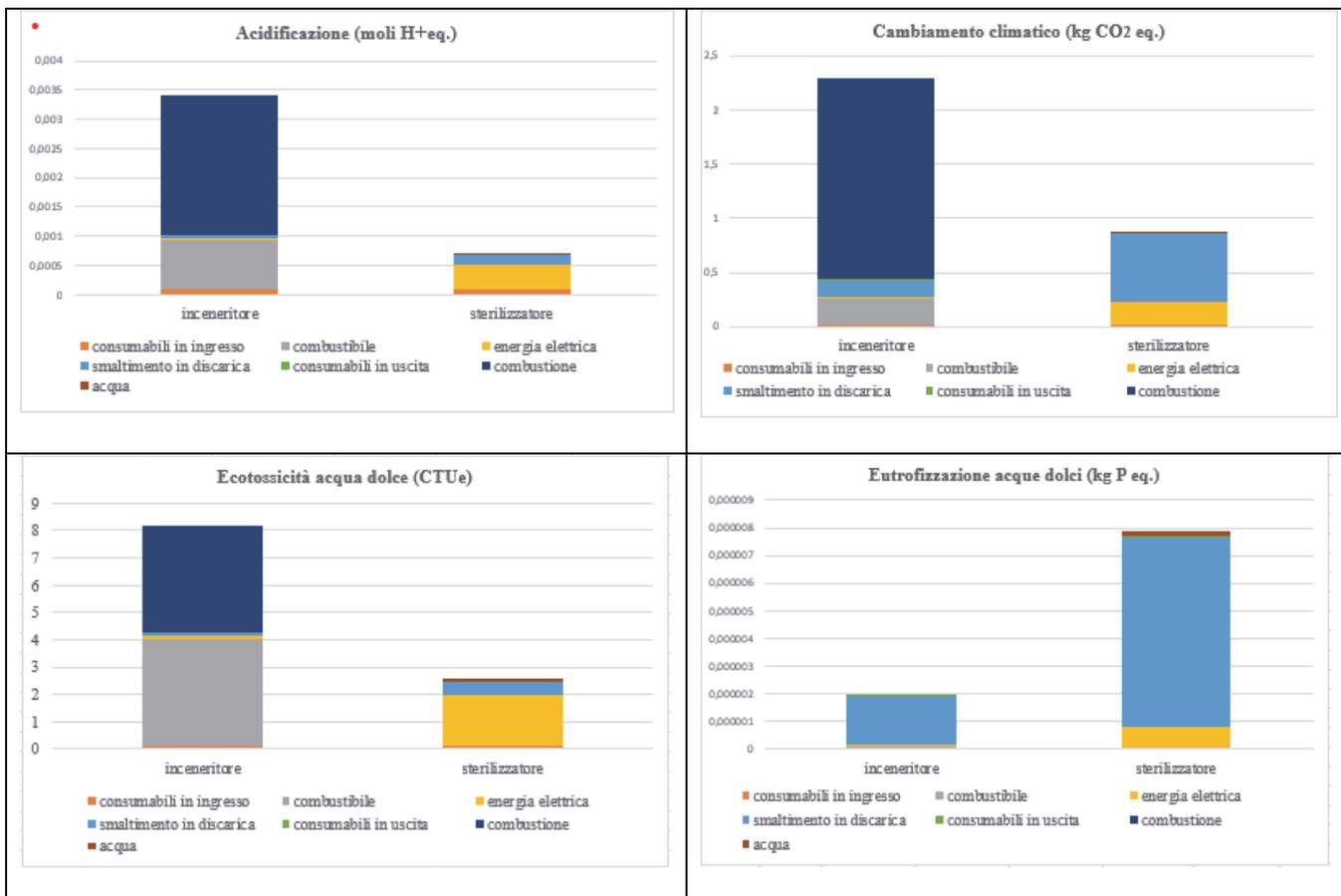
questo valore è variabile poiché gli impatti sulla produzione di energia elettrica cambiano da paese a paese sulla base delle fonti a cui attinge. Tale valore potrebbe cambiare anche nel caso in cui, non potendo accedere alla rete elettrica, si dovesse ricorrere a un generatore di corrente alimentato a diesel. Le **radiazioni ionizzanti** sono onde elettromagnetiche con un'energia sufficiente a liberare elettroni dagli atomi quando attraversano la materia; questi atomi modificati possono indurre reazioni chimiche che provocano danni biologici. Sono causa di malattie respiratorie, tumori ed effetti ereditari (R. Frischknecht et al., 2000). In questo caso il contributo maggiore è dato dalla richiesta di energia elettrica da parte dello sterilizzatore, con una percentuale superiore al 90%. Infatti, queste radiazioni sono fortemente legate agli impianti per la produzione di energia da fonte nucleare, carbone o gas, e lo sterilizzatore richiede una fornitura di energia maggiore rispetto all'inceneritore. Valgono le stesse considerazioni sul valore di elettricità fornito dal *software*, come spiegato per l'ecotossicità. L'**eutrofizzazione** riguarda tutte le potenziali conseguenze causate da livelli eccessivi di macronutrienti, in particolare azoto e fosforo in forma biologicamente disponibile. Un aumento di questi nutrienti può causare un cambiamento nella composizione della specie e una produzione elevata di biomassa sia negli ecosistemi acquatici sia terrestri. Negli ecosistemi acquatici può provocare una depressione dei livelli di ossigeno a causa del

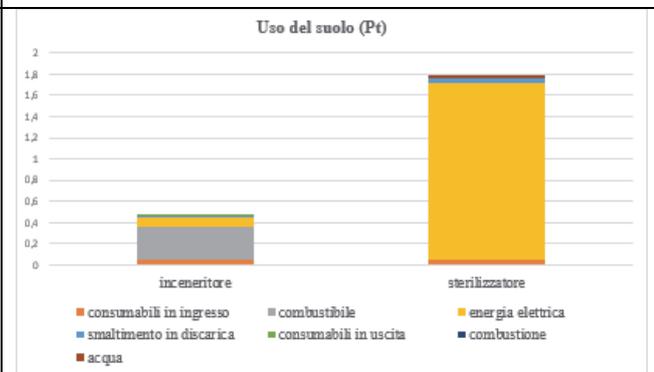
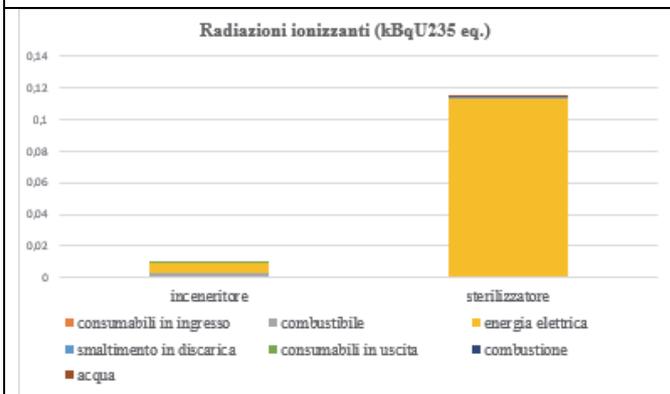
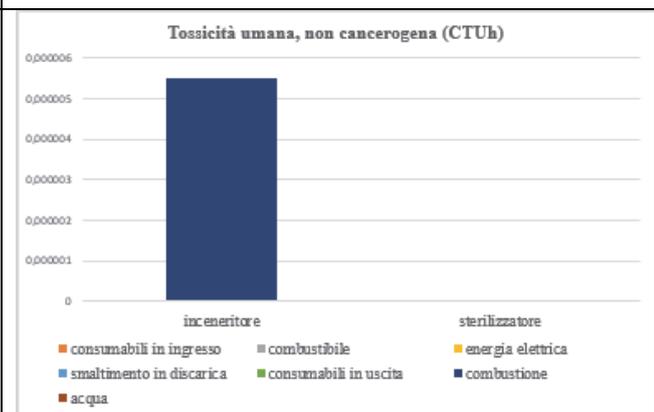
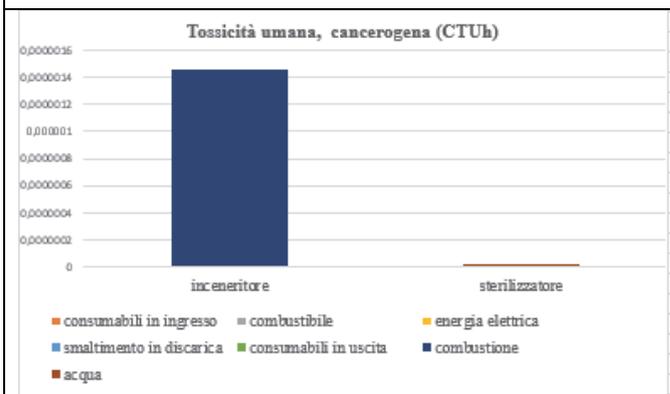
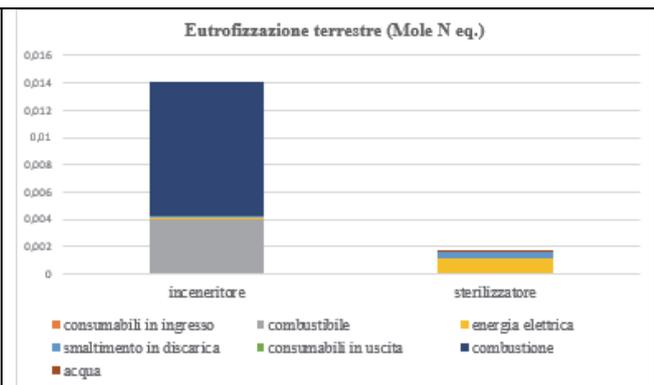
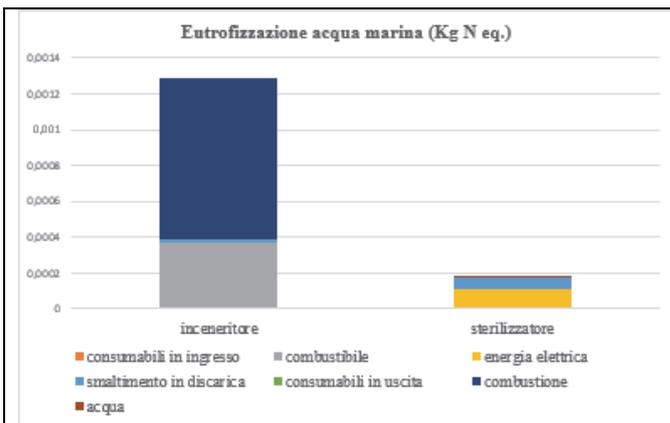
maggiore consumo di ossigeno che avviene nella decomposizione delle biomasse; anche la crescita enorme della comunità algale provoca un impoverimento di ossigeno. Per i composti azotati si parla di nitriti, nitrati, ammoniaca mentre per quelli fosforati ad esempio di fosfati (Sphera's Editorial Team, 21/06/2022). Nel caso in esame l'eutrofizzazione marina e terrestre è impattata maggiormente dall'attività dell'inceneritore e in particolare dalla combustione con una percentuale media superiore al 50%. Infatti, da un punto di vista antropico, l'eutrofizzazione è causata anche dagli ossidi di azoto che derivano proprio dalla combustione. Lo sterilizzatore ha un impatto notevole sull'eutrofizzazione delle acque dolci, legato per la quasi totalità allo smaltimento in discarica. Questo è dovuto al fatto che attraverso lo sterilizzatore il rifiuto in uscita è ridotto del 20% rispetto a quello in entrata a differenza dello sterilizzatore che riduce il rifiuto in uscita dell'80 % rispetto a quello in ingresso. All'interno della categoria **uso del suolo** viene considerata la resistenza all'erosione del suolo, la sua permeabilità, la ricarica delle falde e la riproduzione biotica (Rete Italiana LCA, luglio 2019). Lo sterilizzatore risulta avere un impatto maggiore a causa dell'approvvigionamento di energia elettrica, indispensabile per il suo funzionamento, che prevede tutta una serie di impatti a partire dalla fonte dalla quale si produce fino all'alimentazione stessa dello sterilizzatore. Una piccola percentuale, inferiore al 10%, è da

attribuire allo smaltimento in discarica del rifiuto in uscita dallo sterilizzatore: la discarica comporta tutta una serie di emissioni ma anche occupazione di suolo, nonché rischio di una sua contaminazione se non ben impermeabilizzato e ciò dipende molto dalle tecniche costruttive e dall'attenzione del paese nonché dalla situazione di emergenza. La **riduzione dello strato di ozono** è dovuta all'azione dei clorofluocarburi (CFC) e altri composti organici alogenati che contribuiscono a ridurre la cintura stratosferica di ozono, ossia il “buco dell'ozono”. La riduzione dello strato di ozono fa sì che i raggi ultravioletti UVB raggiungono la superficie della terra con effetti negativi per la salute umana, come danni alla pelle e inibizione della fotosintesi per le piante (Sphera's Editorial Team, 21/06/2022). L'impatto, in questo caso, è a carico dei materiali consumabili in ingresso (ghisa, acciaio, carta, rame, gomma e silicone), in particolare dal rame che necessita di uno specifico processo di estrazione e produzione. Inoltre, il rame è tra i responsabili dell'inquinamento atmosferico: si tratta di un inquinante primario che costituisce una parte importante del particolato atmosferico (ARPA Sicilia). Il **particolato** provoca effetti negativi sulla salute umana e l'unità di riferimento è l'incidenza di malattie (Metodo dell'impronta ambientale, allegato 1). Il contributo maggiore è dato per un 60% dalla produzione del combustibile richiesto dall'inceneritore e un restante 20% dalla combustione. Considerando adesso la **formazione di**

ozono fotochimico, si fa riferimento ad un insieme di composti organici volatili, tra cui ossidi di azoto, ossidi di carbonio, idrocarburi e ozono, che si formano negli strati più bassi dell'atmosfera per azione della luce solare sulle emissioni derivanti dalle attività umane. I disturbi che può provocare sono irritazione oculare, disturbi all'apparato respiratorio e danni alle coltivazioni. I componenti che possono contribuire a questo fenomeno sono il metano, l'etano e il propano. Visto il riferimento agli ossidi di azoto, carbonio e idrocarburi è evidente che l'incidenza maggiore è data dall'inceneritore, anche in questo caso provocata dall'approvvigionamento di combustibile e dalla combustione del combustibile stesso e dei rifiuti immessi all'interno dell'inceneritore. Per quanto riguarda **l'uso delle fonti fossili**, l'impatto è molto maggiore per l'inceneritore rispetto allo sterilizzatore e risulta essere un dato attendibile visto che è alimentato a carbone. **L'uso dei minerali e dei metalli** è legato all'impovertimento delle risorse abiotiche (Metodo dell'impronta ambientale, allegato 1) ossia di tutte le risorse naturali non viventi tra cui la terra, l'acqua, il carbone (utilizzato per la produzione di energia elettrica) e il petrolio (deplezione). Per questo motivo l'impatto è a carico dello sterilizzatore, per un 60% dovuto alla richiesta di energia elettrica (sfruttamento di una risorsa abiotica) e per il 30% dai consumabili in ingresso: in questo caso l'incidenza maggiore è data dall'acciaio e in particolare da tutti processi che stanno dietro

alla sua produzione. Infine, la categoria che si occupa del **consumo di acqua**, è legata alla potenziale mancanza di acqua per l'utente, pertanto, considera un **consumo di acqua** ponderato in funzione della mancanza. Di conseguenza l'impatto è a carico dello sterilizzatore che richiede un certo quantitativo di acqua per poter lavorare (Metodo dell'impronta ambientale- allegato 1, JRC, 2016).





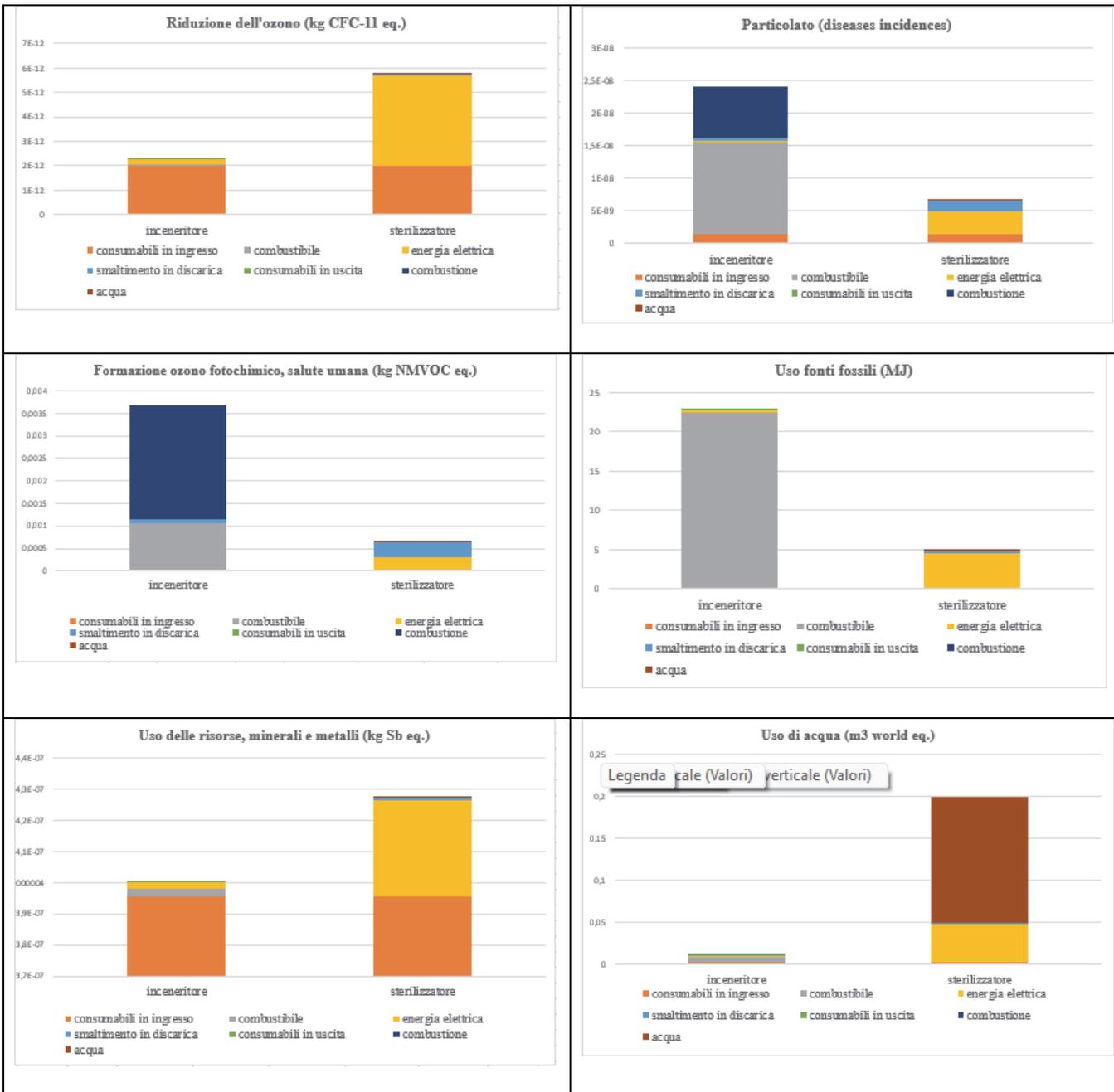


Figura 21 Classificazione e caratterizzazione degli scenari (con combustibile si intende la produzione del carbone scelto come combustibile all'interno dell'inceneritore, con combustione si intende il processo di incenerimento dei rifiuti e del carbone)

Benché l'inceneritore risulti lo scenario peggiore in numerose delle categorie di impatto prese in considerazione, lo sterilizzatore, mostra delle criticità

rilevate principalmente nelle categorie di eutrofizzazione delle acque dolci, radiazioni ionizzanti, uso del suolo, riduzione dello strato di ozono, uso delle risorse- minerali e metalli e uso di acqua: in tutte queste categorie l'approvvigionamento di energia elettrica ha sempre un contributo più o meno importante. Per avere una visione più generale dei risultati risulta quindi utile procedere con le fasi di normalizzazione e pesatura capaci di fornire indici sintetici in modo tale poter confrontare le categorie di impatto.

5.3.2 Normalizzazione e pesatura

Gli impatti potenziali relativi a ciascuna delle categorie considerate sono rapportati a fattori di normalizzazione così da risultare espressi con la stessa unità di riferimento. Tale fase ha la finalità di rendere maggiormente comprensibile l'entità dei diversi impatti del sistema analizzato, in maniera più "oggettiva" rispetto alla fase precedente. I fattori di normalizzazione possono fare riferimento a impatti di una determinata area (globale, regionale, nazionale o locale) totali o pro-capite o di uno scenario alternativo di riferimento. Con la pesatura si assegna un peso alle diverse categorie di impatto: gli impatti potenziali relativi a ciascuna delle categorie, normalizzati, sono quindi moltiplicati per un fattore di pesatura. Al termine di normalizzazione e pesatura i risultati relativi alle diverse categorie di impatto possono essere sommati ottenendo un unico indice che rappresenta il

potenziale impatto complessivo del sistema studiato da un punto di vista ambientale.

Il grafico sottostante (fig.22) mostra l'impronta ambientale dei due scenari presi in considerazione, espresso in persone equivalenti, ovvero il numero di persone- cittadini medi che generano quello stesso impatto in un anno (A. Schmidt, 2003). Questo grafico conferma l'interpretazione di classificazione e caratterizzazione: l'inceneritore rappresenta la scelta meno sostenibile, rispetto all'inceneritore, principalmente a causa delle ingenti emissioni provocate dalla combustione del rifiuto e del carbone (selezionato come combustibile), in assenza di efficienti sistemi di ritenzione delle emissioni. Nonostante in classificazione e caratterizzazione ci fossero degli impatti che risultavano maggiori per lo sterilizzatore, i "pesi" applicati in questa fase dell'analisi hanno portato ad uno "schiacciamento" del grafico relativo allo sterilizzatore a

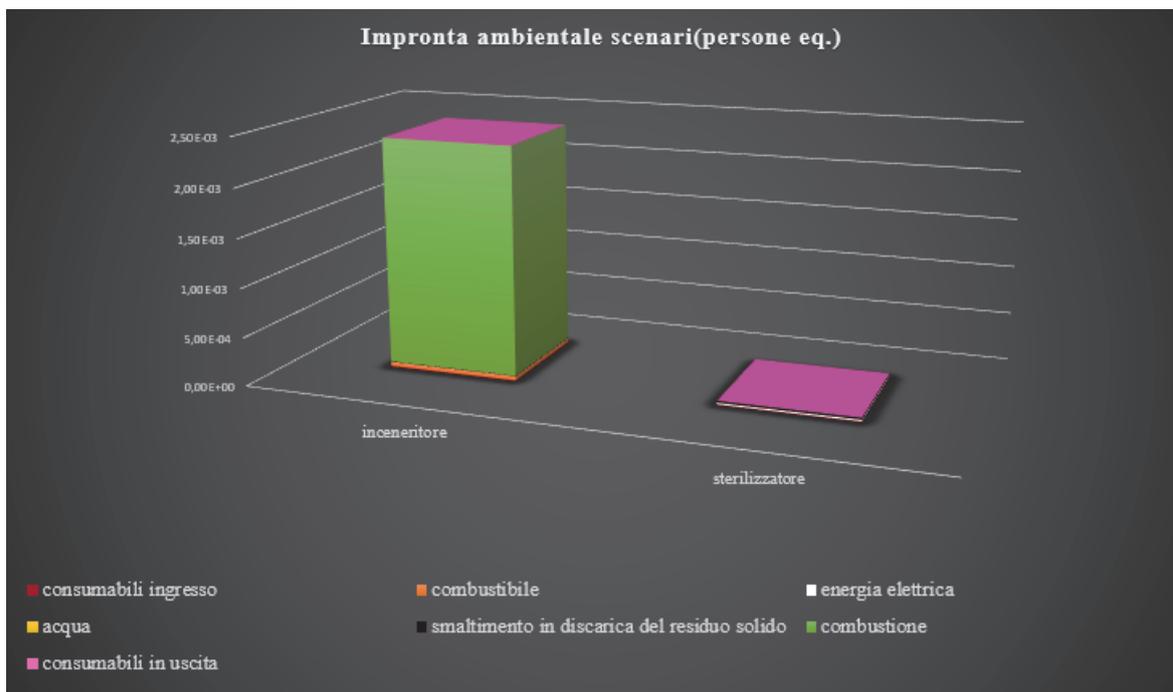


Figura 22 Impronta ambientale degli scenari

Considerando i singoli impatti, i grafici sottostanti (fig.23-24) mostrano le situazioni degli scenari. Come evidentemente mostrato, entrambi gli scenari hanno un impatto sulla tossicità umana cancerogena, ma quello dell'inceneritore è circa quattro volte più grande dello sterilizzatore. La normalizzazione e la pesatura consentono, in questo caso, di notare che anche lo sterilizzatore ha un impatto sulla tossicità umana cancerogena. La tossicità umana non cancerogena ha un impatto rilevante per l'inceneritore circa di un 20% sul totale mentre per lo sterilizzatore l'impatto è minimo e questo risultato è perfettamente in linea con ciò che era emerso in classificazione e caratterizzazione. Lo sterilizzatore ha un impatto sicuramente importante sul

cambiamento climatico, legato soprattutto alla richiesta di energia elettrica e dallo smaltimento in discarica. È bene ricordare che questa categoria di impatto fa riferimento alle emissioni di gas serra che provocano il riscaldamento globale, tra cui ci sono l'anidride carbonica e il metano prodotti ad esempio dalle discariche. Tutte le altre categorie hanno impatti trascurabili per l'incenerimento, anche se ad esempio in classificazione e caratterizzazione, risultavano avere un impatto maggiore come la formazione di ozono fotochimico e l'uso di fonti fossili. Va considerato che le categorie di impatto come cambiamento climatico, acidificazione, tossicità umana e uso di risorse fossili hanno un peso maggiore rispetto all'uso del suolo o al consumo di acqua ad esempio.

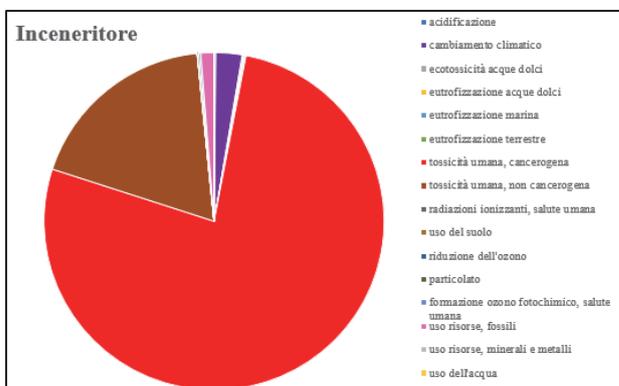


Figura 23 Impatti dell'inceneritore

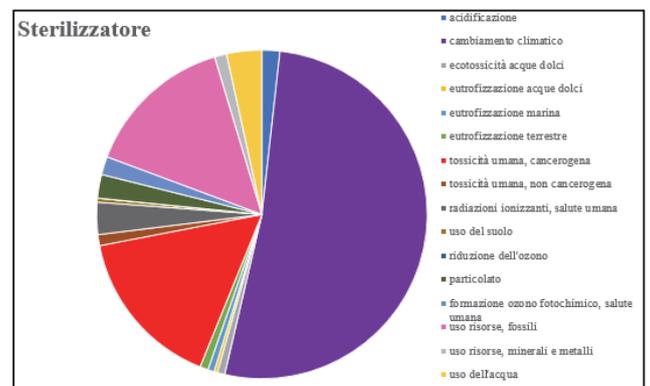


Figura 24 Impatti dello sterilizzatore

5.4 Interpretazione dei risultati

Lo studio di sostenibilità ambientale condotto sull'inceneritore portatile *Drug Terminator* e lo sterilizzatore *Sanifyco 19 NW5* mostra che la scelta dell'inceneritore portatile è sicuramente, tra i due, la scelta peggiore. Questo risultato conferma anche le perplessità dell'OMS circa l'autorizzazione all'utilizzo di questi inceneritori in caso di emergenza. La soluzione dell'inceneritore portatile rappresenta comunque una soluzione migliore rispetto all'incenerimento a cielo aperto all'interno di una buca poiché consente almeno il controllo delle emissioni di particolato attraverso i filtri dell'aria posti all'interno dell'inceneritore. Si tratta comunque di stime e assunzioni poiché dalla casa produttrice non viene fornita nessuna caratteristica di questi filtri, né la dimensione né la capacità di assorbimento. Inoltre, questi filtri, una volta sostituiti dovranno essere sicuramente smaltiti per cui l'impatto di questo tipo di dispositivo potrebbe essere maggiore di quello emerso. I risultati potrebbero essere sicuramente diversi se si potesse associare a questi inceneritori dei sistemi di abbattimento delle emissioni, ma occorrerebbe verificarne la possibilità a livello tecnologico. I dati di questa tesi dimostrano che c'è sicuramente una soluzione migliore ed è lo sterilizzatore portatile. Il residuo in uscita è un rifiuto (assimilabile ad un rifiuto urbano), ridotto del 20% del volume, macinato e adatto allo smaltimento in discarica. I principali limiti di

tale sistema sono quindi, la produzione di una maggiore quantità di rifiuto in uscita rispetto all'incenerimento (i cui effetti ambientali sono comunque estremamente più ridotti di quelli associati alla combustione) e la necessità di un apporto di acqua necessario in fase di sterilizzazione.

CONCLUSIONI

Il presente studio ha prodotto dei risultati di estremo interesse a supporto di una gestione sostenibile dei rifiuti provenienti da strutture campali installate in condizioni di emergenza. Lo studio del ciclo di vita ha consentito di identificare un'alternativa all'incenerimento e ha dimostrato la fondatezza dei dubbi avanzati dai certificatori dell'OMS. I sistemi di controllo delle emissioni, installati su un inceneritore portatile, non sono capaci di evitare in maniera davvero efficace le emissioni in aria, dovute alla combustione di un rifiuto eterogeneo come quello ospedaliero sommate a quelle legate alla combustione del carbone. L'alternativa identificata, ossia lo sterilizzatore, si è dimostrato interessante grazie alle caratteristiche del residuo in uscita perché non solo sterilizza ma riduce di volume il rifiuto rendendolo adatto allo smaltimento in discarica. Inoltre, ha le caratteristiche dimensionali per poter essere trasportato e collocato presso gli ospedali da campo in caso di emergenza e ha la possibilità di trattare, anche se escluso da questa tesi, i reflui. A differenza dell'inceneritore, è stato possibile accedere ai test effettuati dalla casa costruttrice e aver quindi un'idea più rappresentativa di come funziona e di ciò che serve per poterlo far funzionare. Sicuramente è importante, e lo sarà in futuro, andare nella direzione della riduzione degli impatti per la salute e per l'ambiente migliorando sempre di più le tecniche costruttive al fine di

contenere le emissioni e richiedere sempre più bassi apporti energetici. In tutto ciò, non va dimenticato, che in fase emergenziali esistono tutta una serie di criticità tecnico organizzative da non sottovalutare (legate anche alle peculiarità del paese in cui ci si trova) quali ad esempio i carenti sistemi di raccolta, la mancata possibilità di eseguire pretrattamenti e differenziazione delle frazioni, la necessità di agire in maniera veloce e a volte con pochi mezzi e/o servizi a disposizione.

Complessivamente lo studio con approccio del ciclo di vita si è dimostrato un ottimo metodo per l'identificazione di metodi più sostenibili di gestione rifiuti anche in condizioni emergenziali.

Bibliografia

Y Bar-Dayan, A Leiba, P Beard, D Mankuta et al. A Multidisciplinary Field Hospital as a Substitute For Medical Hospital Care in the Aftermath of an Earthquake: The Experience of the Israeli Defense Forces Field Hospital in Duzce, Turkey, 1999

<https://scholar.google.com/>

M, Gerdin, A. Wladis, J. Von Schreeb. Foreign field hospitals after the 2010 Haiti earthquake: how good were we? *Emergency Medicine Journal*, 2013
emj.bmj.com

Ministero della Difesa
difesa.it

IUNES International Journal of Natural and Engineering Sciences 01-06-2016
Modeling Towards Environmental Planning After an Earthquake: Case Study of Field Hospitals and Medical Wastes
<https://scholar.google.com>

Clement Afesi-Dei, Miriam Appiah-Brempong, Esi Awuah. Health care waste management practices: the case of Ho Teaching Hospital in Ghana
<https://sciencedirect.com>

Ayan Muse Osman, Zubeda Ukundimana, Fwangmun B. Wamyil, Abdulfatah Abdu Yusuf, Kabera Telesphore. Quantification and characterization of solid waste generated within Mulago national referral hospital, Uganda, East Africa
<https://sciencedirect.com>

Mufsekur Rahman Dihan, S.M. Abu Nayeem, Hridoy Roy, Md. Shaninoor Islam, Aminul Islam, Abdulmohsen K.D. Alsukaibi, Md. Rabiul Awual. Healthcare waste in Bangladesh: current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework
<https://sciencedirect.com>

Selvakumar Dharmaraj, Veeramuthu Ashokkumar, Rajesh Pandiyan, Heli Siti Halimatul Munawaroh, Kit Wayne Chew, Wei-Hsin Chen, Chawalit Ngamcharussrivichai. Pyrolysis: an effective technique for degradation of Covid-19 medical wastes, 2021.
<https://sciencedirect.com>

M. Habibur Rahman, S.Noor-Ud-Deen Ahmed and M.Shehab Ullah, 1999. A study on hospital waste management in Dhaka City
<https://sciencedirect.com>

<https://ares-odv.org>

Sir agenzia di Informazione Terremoto in Abruzzo: ospedale da campo, “dal sisma oltre 1400 pazienti al pronto soccorso”
www.agensir.it

Saber Azami-Aghdash, Mahdi Sayadzadeh, Ali Ashtari, Naser Derakhshani, Zahra Sedaei. Ramin Rezapour. Improving the hospital waste management at the Farabi hospital in

Malekan -Iran: An action research study
<https://sciencedirect.com>

M. Tsakona, E. Anagnostopoulou, E. Gidaracos. Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study, 2007
<https://sciencedirect.com>

Lucia Rigamonti, Andrea Fedele. L'analisi del ciclo di vita nel settore rifiuti: l'importanza di un solido approccio metodologico.

ingegneriadellambiente.net

L.Musmeci, settembre 2005. Manuale operativo per la gestione dei rifiuti prodotti all'interno dell'ISS.

D. Gill and L. Ritchie. Contributions of technological and Na-tech disaster research to the social science disaster paradigm. Handbook of Disaster Research, 2018

<https://www.sciencenews.org>

M. Chaerul, M.Tanaka, A.V. Shekdar. A system dynamics approach for hospital waste management, 2008

<https://sciencedirect.com>

M. Arab et al.,2008. The assessment of hospital waste management: a case a study of Teheran.

<https://sciencedirect.com>

A.Masetti 2004. Grandi calamità e piccoli pazienti

<https://ministerodelladifesa.it>

C. Bianchini, 12/06/2023. Protezione civile, un nuovo ospedale da campo per le maxi emergenze.

<https://www.intoscana.it>

L. Berengo, 10/05/2023. Protezione civile, proseguono attività per realizzare ospedale da campo in maxi-emergenze.

<https://www.toscananotizie.it>

APAT- Rapporti tecnici, 2008. Valutazioni quali-quantitative sulla produzione e gestione dei rifiuti speciali sanitari.

<https://www.apat.it>

Pak Armed Forces Med J 2020. Hospital waste management practices.

<https://sciencedirect.com>

La convenzione di Stoccolma: inquinanti organici persistenti, 28/06/2023.

certifico.com

Convenzione di Stoccolma, revisione 2019.

<https://www.pops.int/>

Sheriff et al., 2019. The listing of new persistent organic pollutants in the Stockholm Convention: its burden on developing countries.

<https://sciencedirect.com>

Ministero della Salute, 2015. Formaldeide.

www.salute.gov.it

J. Liu et al., 2022. Study on the process of medical waste disinfection by microwave technology.

<https://sciencedirect.com>

H.G. Mazzei and S. Specchia, 2023. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: a review.

<https://sciencedirect.com>

EM-DAT, The International Disaster Database

<https://www.emdat.be>

Quarantelli E.L., 1993. Technological and natural disasters and ecological problems: similarities and differences in planning for and managing them.

World Health Organization (2014). Safe Management of Wastes from Health-care activities.

<https://www.who.int>

M.Saffari Pour, A. Hakkaki-Fard, B.Firoozabadi, 2020. Numerical Investigation of a portable incinerator: a parametric study.

J. Miao, J.Li, F. Wang, X.Xia, S.Deng, S. Zhang, 2022. Characterization and evaluation of the leachability of bottom ash from a mobile emergency incinerator of COVID-19 medical waste: a case of study in Houshenshan Hospital, Wuhan, China.

<https://sciencedirect.com>

S. Batterman, 2004. Findings on an Assessment of Small-scale Incinerators for Health-care Waste.

<https://www.drugterminator.com/>

<https://www.newstergroup.com/>

G. Magrini, L. Trevisson, M. Pericoli, E. Catapano, G. Casalboni, 2023. Evaluation of hazardous air emissions from Incinerators and Newster® Sterilizers.

EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Clinical waste incinerator.

M.C.M. Alvin Ferraz, S.A.V Afonso, 7/10/2002. Incineration of different types of medical wastes: emission factors for gaseous emission. LEPAE, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

A. Caputo, APAT. Produzione di energia elettrica ed emissioni di gas serra (Strategie di mitigazione delle emissioni).

Tabella parametri standard nazionali, 17 marzo 2011.

isprambiente.gov.it

ARPA, 2008. Emissioni in Lombardia ripartite per macrosettore.

arpalombardia.it

G. Arcese, M. Cellura, S. Cortesi, L.Cutaia, M.C. Lucchetti, E. Mancuso, M. Mistretta, C. Montauti, S. Scalbi, giugno 2019. Il Life Cycle Thinking a supporto delle strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

[researchGate.net](https://www.researchgate.net)

R. Frischknecht, A. Braunschweig, P. Hofstetter, P. Suter, 2000. Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment.

<https://www.sciencedirect.com>

XIII Convegno della Rete Italiana LCA, luglio 2019.

[researchGate.net](https://www.researchgate.net)

Cosa è la valutazione del ciclo di vita (LCA)?, 21/06/2022. Sphera's Editorial Team

[sphera.com](https://www.sphera.com)

Definizione di risorse abiotiche.

[scienceaq.com](https://www.scienceaq.com)

Allegato 1. Metodo dell'impronta ambientale di prodotto. JRC, 2016.

[europa.eu](https://www.europa.eu)

Metalli.

arpa.sicilia.it

A. Schmidt e J. Frydendal, Methods for calculating the environmental benefits of "green" products, C. Erdmenger, A cura di, 2003.

European Platform on LCA-EPLCA.
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>

Environmental performance indicators.

www.environdec.com/

Monossido di carbonio, Ministero della Salute 2015.

www.salute.gov.it