

# Università Degli Studi Di Napoli Federico II



## Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in

### Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

(Classe delle Lauree magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Classe LM-35)

Tesi di Laurea

## **ANALISI LCA (LIFE CYCLE ASSESSMENT) DEL PROCESSO PRODUTTIVO RADOME CONDOTTO PRESSO L'AZIENDA MBDA ITALIA S.p.A.**

### **RELATORI**

Ch.mo Prof. Francesco Calise  
Ch.mo Prof. Massimo Dentice d'Accadia  
Ch.mo Prof. Massimiliano Fabbicino

### **CANDIDATE**

Francesca De Filippis M67/269  
Giuliana Faella M67/274

### **CORRELATORI**

Ing. Alberto Ferraro  
Per. Ind. Alessandro Cecere  
Ing. Vera Tagliatela

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

# Abstract

---

L'effetto inquinante attribuibile all'impiego di tradizionali combustibili fossili (gas, petrolio e carbone, etc.) è sempre più significativo. Pertanto, l'obiettivo di molti fra i paesi del mondo è di creare le condizioni per un sistema energetico più efficiente, minimizzando il carbonio derivante dalle fonti fossili, in modo da consentire una riduzione delle emissioni senza rallentare lo sviluppo economico e sociale. A tal fine si afferma il concetto di efficientamento energetico, che punta all'ottimizzazione energetica di ogni attività. Quest'ultimo è stato il punto di partenza del seguente lavoro di tesi, in cui si implementa un'analisi di *Life Cycle Assessment* (LCA) per poter quantificare l'impatto ambientale relativo ad uno specifico ciclo produttivo. Il lavoro è stato condotto presso l'azienda MBDA (Matra BAE Dynamics Alenia) Italia S.p.A. di Fusaro (Bacoli), la quale è una delle aziende leader al mondo per la progettazione, lo sviluppo e la realizzazione di sistemi missilistici e tecnologie per la difesa.

Il Life Cycle Assessment è un procedimento *oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo o ad un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati in ambiente*, come definito dall'UNI EN ISO 14040 - 2006. Il ciclo di vita analizzato deve comprendere tutte le fasi necessarie alla produzione dell'elemento esaminato; in particolare esistono cinque stadi chiave nel ciclo di vita di un prodotto o servizio (Figura 1): reperimento dei materiali grezzi richiesti per il prodotto o servizio, conversione di questi ultimi e assemblaggio dei prodotti, distribuzione del prodotto, con annessi trasporto ed imballaggio, uso diretto del prodotto o servizio da parte del consumatore, e infine, l'inutilizzo del prodotto o servizio, a cui si associa lo smaltimento e l'eventuale riciclo.



Figura 1: Fasi del ciclo di vita di un prodotto o servizio

In particolare, in questo elaborato si analizza il processo produttivo Radome, la parte ogivale del missile che protegge l'antenna. È il ciclo maggiormente consistente, dello stabilimento in questione, in termini di bilanci di materia ed energia. L'analisi è stata condotta seguendo le quattro fasi principali dell'LCA:

- Definizione di scopi ed obiettivi (*Goal and Scope Definition*)
- Analisi dell'inventario (*Life Cycle Inventory, LCI*)
- Analisi degli impatti ambientali (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*)
- Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*).

Nella fase di Definizione di scopi ed obiettivi (*Goal and Scope Definition*) si è definito come obiettivo principale la valutazione degli impatti ambientali ed energetici, relativamente al Radome del missile METEOR (unità funzionale). Il campo di applicazione comprende il trasporto delle materie prime, la lavorazione di queste, la fabbricazione del prodotto finale e gli smaltimenti dei rifiuti del ciclo.

Lo step di Analisi dell'inventario (*Life Cycle Inventory, LCI*), ha previsto la definizione del dominio di valutazione e la Collection of data, riguardante sia bilanci di materia che di energia. Si mostra, in Figura 2, la linea principale del ciclo produttivo Radome.

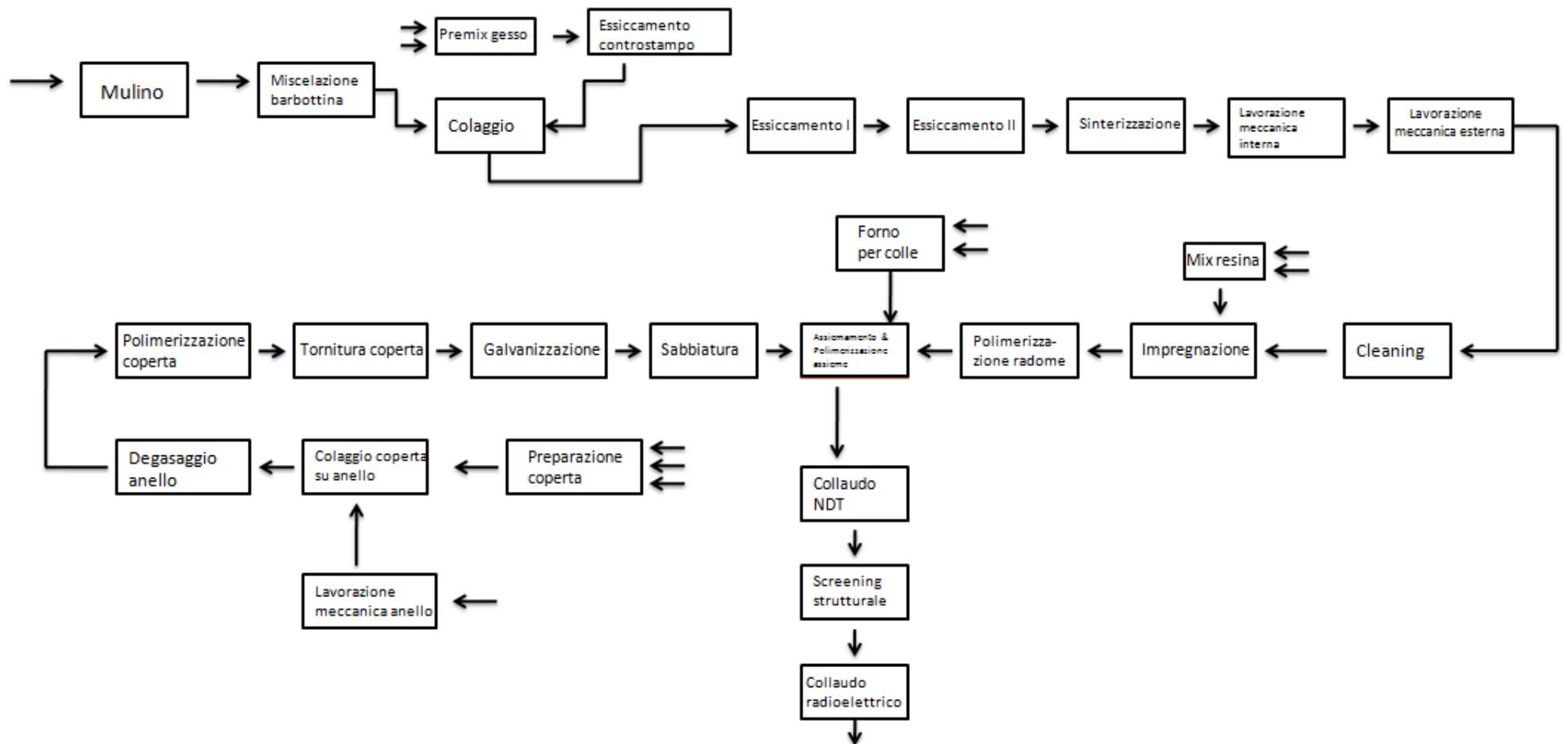


Figura 2: Sistema del processo di produzione del Radome

La linea produttiva principale del Radome può essere suddivisa in cinque macroaree: Area Ceramica, Area Meccanica, Area Lavorazione Anello, Area Assiemamento ed Area Collaudo. Infatti, nella prima viene lavorata la barbottina di silice fino alla formazione del pezzo grezzo, che subisce una serie di essiccamenti a temperature crescenti e una sinterizzazione, per poter garantire una buona densificazione. Dopodiché il pezzo passa in Area Meccanica dove viene modellato fino alla sua forma ultima; contemporaneamente viene anche lavorato l'anello di acciaio Invar e assiemato con una coperta termica di materiale siliconico, necessaria per garantire un buon isolamento termico. A questo punto, dopo aver anche impregnato il Radome di resina, le due parti possono essere unite in Area Assiemamento per dar vita all'assieme Radome, che deve essere collaudato per poterne verificare determinate caratteristiche.

Le strategie applicate per la Collection of data sono state, principalmente, il reperimento dei dati in azienda (comunicazioni con il personale e documentazione cartacea), prevalentemente relativi alle materie prime, le misurazioni dirette in stabilimento, essenzialmente energetiche, e il computo indiretto mediante l'utilizzo di fattori di conversione e dati di letteratura.

Per il reperimento dei dati relativi ai consumi energetici ci si è avvalsi di misurazioni dirette, in quanto l'azienda non dispone di contatori che forniscono dati disaggregati. Le misurazioni sono state eseguite tramite l'analizzatore di rete GSC 57 di HT (Global System Control) e in alcuni casi con pinza amperometrica. Entrambi gli strumenti possono essere collegati al cavo conduttore senza interrompere il circuito; questi rilevano l'intensità del campo elettromagnetico presente intorno al cavo, che è funzione dell'intensità di corrente che attraversa lo stesso, al cui valore si risale in maniera indiretta. Nei casi in cui è stata utilizzata la pinza amperometrica, è stato possibile rilevare singolarmente i valori di intensità per ogni fase, successivamente mediati per ottenerne uno unico da attribuire al processo. L'utilizzo dell'analizzatore di rete, invece, garantisce rilevamenti più precisi, infatti è stato possibile effettuare le misurazioni contemporaneamente sulle tre fasi (ove presenti) e per tutto l'arco temporale in cui il macchinario era in funzione. Valore aggiunto dell'analizzatore di rete, rispetto alla pinza utilizzata, è stato che, oltre a rilevare l'intensità di corrente, ha misurato anche valori puntuali di tensione e potenza; tutti i dati sono stati

elaborati dal software Topview di HT, il quale ha consentito l'estrapolazione dei risultati in forma tabellare e grafica. A titolo esemplificativo si riporta l'andamento della potenza media attiva nel tempo di una delle fasi più energivore, la sinterizzazione (Figura 3).

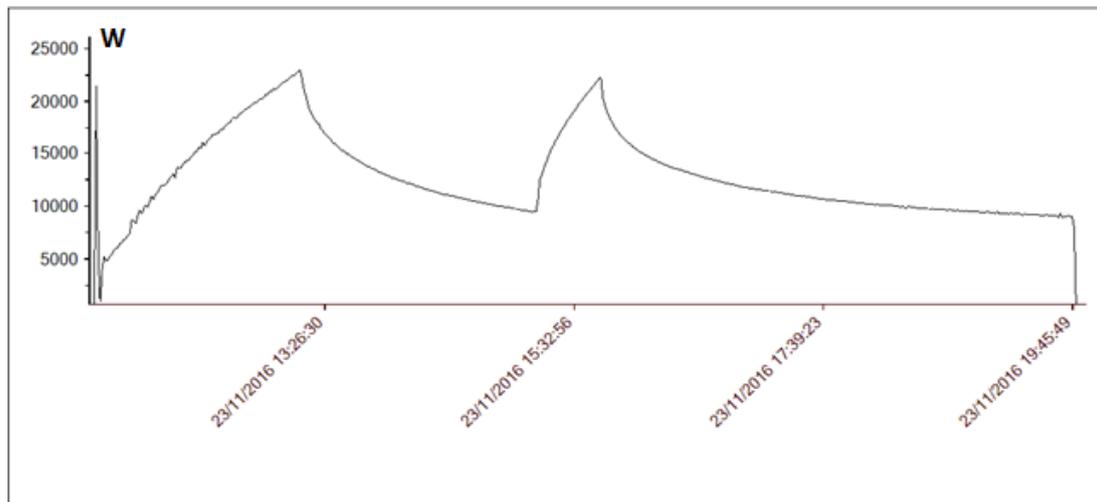


Figura 3: Potenza attiva relativa alla fase di sinterizzazione

Quest'andamento è dovuto al caratteristico svolgimento di tale processo: infatti dapprima, in fase di avviamento, è necessario raggiungere una temperatura elevata, inferiore a quella di regime, dopodiché vi è un periodo di stasi in cui la lavorazione continua con la stessa temperatura e ciò si può apprezzare dalla riduzione della potenza. Quindi, per arrivare alla temperatura di esercizio è necessaria un'ulteriore rampa di salita con un corrispondente aumento di potenza, seguito da una seconda stasi che chiude il ciclo. Non è prevista una rampa di discesa per il raffreddamento.

Il computo indiretto, invece, è servito essenzialmente per valutare le emissioni di gas serra causate sia dai vari trasporti coinvolti che dall'utilizzo di energia elettrica, ad esempio si è utilizzato un fattore di conversione LCA per l'energia elettrica di 0,708 Kg di CO<sub>2eq</sub> per ogni kWh impegnato.

La fase di Analisi degli impatti ambientali (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*), è consistita nella creazione del modello del ciclo di vita del prodotto, con l'ausilio del software openLCA, di cui sono stati quantificati i relativi impatti per ogni fase. L'analisi è stata

implementata utilizzando il database ELCD (European Reference Life Cycle Database), disponibile e scaricabile gratuitamente dall'archivio online openLCA Nexus. Quest'ultimo è uno dei database europei più completo in termini di flussi elementari (materie prime), fonti di energia, processi di trasporto e gestione dei rifiuti. Si è adoperato ReCiPe midpoint (E), come metodo di valutazione degli impatti, il quale comprende 18 categorie di impatto, garantendo una visione completa dei risultati; si è scelta la strategia Egalitarian (E), in modo da poter usufruire della prospettiva più cautelativa possibile.

L'ultimo step è l'Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*), sulla base dei quali sono stati avanzati scenari alternativi; si riportano in Tabella 1 i risultati in termini di impatti ambientali, elaborati dal software openLCA.

Categoria di impatto	Risultato	Unità di riferimento
Terrestrial ecotoxicity	0.01693	kg 1,4-DB eq
Urban land occupation	0.03822	m <sup>2</sup> *a
Marine ecotoxicity	16.58623	kg 1,4-DB eq
Fossil depletion	112.85183	kg oil eq
Metal depletion	49.86557	kg Fe eq
Terrestrial acidification	0.26920	kg SO <sub>2</sub> eq
Photochemical oxidant formation	0.27101	kg NMVOC
Ionising radiation	1.58786	kg U235 eq
Particulate matter formation	0.10989	kg PM10 eq
Freshwater ecotoxicity	0.07736	kg 1,4-DB eq
Human toxicity	44.12500	kg 1,4-DB eq
Natural land transformation	0.00072	m <sup>2</sup>
Freshwater eutrophication	0.00094	kg P eq
Ozone depletion	1.27409E-6	kg CFC-11 eq
Marine eutrophication	0.00950	kg N eq
Climate Change	437.74640	kg CO <sub>2</sub> eq
Water depletion	0.47799	m <sup>3</sup>
Agricultural land occupation	0.04167	m <sup>2</sup> *a

Tabella 1: Categorie di impatto

La categoria di impatto più rilevante è stata il Climate change, per la quale sono risultati 437,8 kg CO<sub>2eq</sub>, dovuti al ciclo produttivo, ai suoi processi a monte, ai trasporti e agli smaltimenti. In particolare, in Figura 4, si notano i processi che contribuiscono più significativamente, prima di tutto la galvanizzazione, con 81,7 kg CO<sub>2eq</sub>, la sinterizzazione,

con un'emissione di 74,8 kg CO<sub>2eq</sub>, ed infine alle fasi di produzione di acciaio e lavorazione meccanica interna si possono associare, rispettivamente, 52,4 kg CO<sub>2eq</sub> e 37,3 kg CO<sub>2eq</sub>.

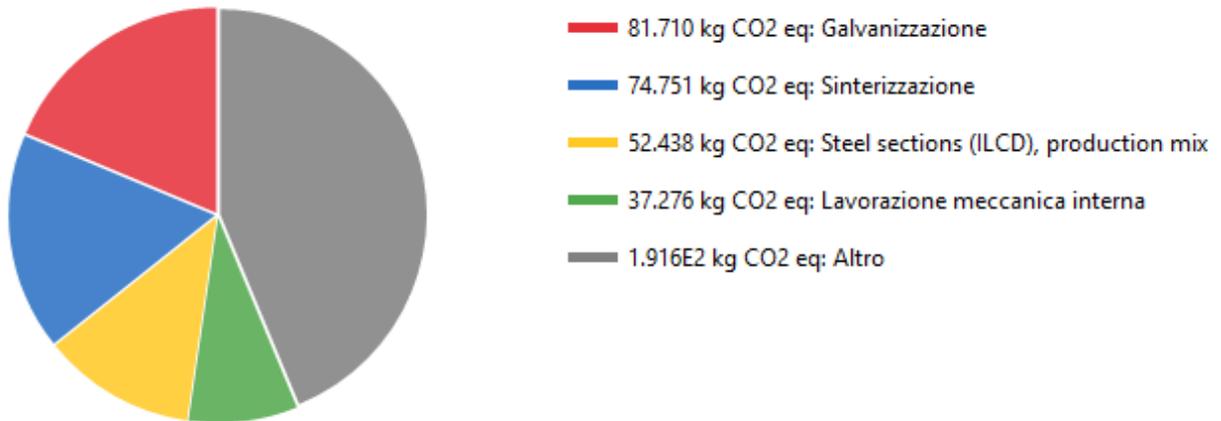


Figura 4: kg CO<sub>2eq</sub> emessa per i 5 processi più impattanti del ciclo di produzione del Radome

La galvanizzazione risulta la fase più impattante, nonostante l'anello di acciaio Invar (parte fondamentale dell'assieme Radome), rimanga in questa zona solo per 1 h, a causa di una particolare gestione dell'area, in cui la climatizzazione e l'aspirazione restano accese anche durante le ore di non lavorazione; tali consumi sono stati conteggiati in quelli relativi al singolo anello. Le fasi che seguono sono accomunate da un tempo elevato di ciclo di lavorazione, nel quale la potenza assorbita è notevole, causando il maggiore consumo energetico, a cui si associa un'emissione di gas serra. Le energie spese per le tre fasi più impattanti sono: 115,4 kWh (galvanizzazione), 105,6 kWh (sinterizzazione) e 52,7 kWh (lavorazione meccanica interna).

Per la categoria Fossil depletion si è ottenuto un consumo di 112,85 kg oil<sub>eq</sub>, imputabile principalmente all'utilizzo di combustibili fossili. Valori minori sono associati alle altre tre categorie di impatto principali, la Metal depletion con 49,9 kg Fe<sub>eq</sub>, la Human toxicity con 44,1 kg 1,4-DB<sub>eq</sub> e infine la Marine ecotoxicity con 16,6 kg 1,4-DB<sub>eq</sub>.

In merito alla sola linea produttiva, per un Radome, è stata condotta l'analisi energetica ed economica. È scaturito che la spesa energetica è di 473,45 kWh con un dispendio economico di 1233,26 €, di cui il 94% attribuibile al costo delle materie prime ed il 6%

associabile al costo dell'energia elettrica, ritenendo trascurabile l'aliquota riferita ai trasporti.

Individuati i punti critici del sistema analizzato, sono stati proposti degli scenari alternativi alla situazione attuale, per poter verificare eventuali migliorie in termini di impatto:

- Scenario 1: produzione di energia elettrica in stabilimento con pannelli fotovoltaici
- Scenario 2: estrazione di silice da cava
- Scenario 3: assieme Radome non recuperato ma portato in discarica
- Scenario 4: sostituzione dei forni elettrici più energivori con forni a gas.

La proposta più conveniente in termini energetici ed ambientali è quella relativa alla produzione di energia elettrica, nello stabilimento, con pannelli fotovoltaici. Nel caso avanzato, la fonte utilizzata per la produzione di energia è quella solare, quindi non vi sono emissioni di CO<sub>2</sub>; considerando, però, la produzione, il trasporto e lo smaltimento del pannello fotovoltaico, devono comunque essere computate, in un'analisi LCA, delle emissioni minime.

Si è scelto questo scenario in quanto dall'analisi è emerso che il ciclo è particolarmente energivoro, determinando un impatto rilevante sia in termini di Climate change che di Fossil depletion. L'azienda, nello scenario di riferimento, utilizza energia elettrica proveniente dalla rete di distribuzione dell'Enel, ricavata da combustibile fossile. Con l'ausilio del software openLCA, sono stati confrontati i due differenti scenari, in cui è emerso che l'alternativa avanzata è notevolmente meno impattante (Tabella 2).

Categoria di impatto	Scenario 0	Scenario 1	Unità
Climate Change	4.37746e+2	7.68109e-3	kg CO2 eq
Fossil depletion	1.12852e+2	0.00000e+0	kg oil eq

Tabella 2: Valori emissioni di CO<sub>2</sub>eq e consumo di oil<sub>eq</sub>

Inoltre, effettuati tutti i confronti tra tutti gli scenari avanzati e quello di riferimento è risultato che tutte le alternative, eccetto quella di rinunciare al recupero del corpo ceramico, sono nettamente più convenienti rispetto allo scenario iniziale.