

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA CIVILE

Tesi di Laurea in Teoria e Tecnica della Circolazione

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

DICAM

**TAXIBOT: ANALISI DEI BENEFICI DERIVANTI
DALL'INTRODUZIONE DI UN VEICOLO
SEMI-ROBOTICO PER DISPATCH TOWING**

UN'APPLICAZIONE ALL'AEROPORTO GUGLIELMO MARCONI DI BOLOGNA

Elaborato finale di:

ETTORE GUALANDI

Relatore:

Prof. Ing. LUCA MANTECCHINI

Correlatore:

Ing. TOMASO BARILLI

III Sessione - Anno Accademico 2013/2014

INDICE

Introduzione	1
PARTE 1	
1. Il mutamento climatico	3
1.1. Riscaldamento globale e radiative forcing.....	4
1.2. I gas serra.....	7
1.2.1. CO ₂	7
1.2.2. NO _x	9
1.2.3. PM microparticolato.....	9
1.3. Il contributo del trasporto aereo.....	10
1.4. Il trend in crescita dell'aviazione.....	12
1.5. Politiche di riduzione delle emissioni.....	15
2. L'impatto ambientale dell'infrastruttura aeroportuale	18
2.1. Descrizione dell'infrastruttura aeroportuale.....	19
2.1.1. Classificazione ICAO.....	19
2.1.2. Elementi dell'infrastruttura aeroportuale.....	20
2.2. Le emissioni di origine aeroportuale.....	23
3. L'aeroporto Guglielmo Marconi, Bologna	27
4. Landing and takeoff (LTO) cycle	35
4.1. La procedura LTO.....	37
4.2. Aircraft ground propulsion system.....	40
4.2.1. Rullaggio a motore singolo.....	41
4.2.2. On-board system.....	42
4.2.3. External power unit.....	44
5. Taxibot	46
5.1. Descrizione del mezzo.....	47
5.2. Caratteristiche tecniche.....	48
5.3. Benefici.....	50

PARTE 2

6. L'introduzione del Taxibot nell'aeroporto di Bologna	53
6.1 Contributo emissivo degli aeromobili.....	53
6.1.1. Emissioni di CO ₂ allo stato attuale.....	54
6.1.2. Introduzione del Taxibot nell'infrastruttura aeroportuale.....	65
6.1.3. Emissioni CO ₂ nello scenario futuro.....	70
6.1.3.1. Rilevamenti.....	73
6.1.3.2. Calcolo delle emissioni.....	76
6.2. Contributo emissivo del push-back.....	79
6.2.1. Calcolo dei consumi.....	83
6.2.2. Emissioni di CO ₂ allo stato attuale.....	92
6.2.3. Emissioni di CO ₂ nello scenario futuro.....	92
6.2.3.1. Rilevamenti.....	95
6.2.3.2. Calcolo delle emissioni.....	96
7. Conclusioni	100
7.1. Livello emissivo nello scenario futuro.....	102
7.2. Beneficio economico delle compagnie aeree.....	105

INTRODUZIONE

L'aeroporto Guglielmo Marconi si inserisce nel principale nodo della rete infrastrutturale di trasporto italiano, la città di Bologna.

Tra il 2010 e il 2014 il numero di passeggeri transitati nello scalo bolognese è cresciuto di 20 punti percentuali toccando quota 6.580.481 (bilancio sostenibilità 2014).

La posizione centrale che l'infrastruttura aeroportuale occupa rispetto alla città, porta da un lato un beneficio economico ma parallelamente ad un forte impatto ambientale in termine di inquinamento atmosferico ed acustico.

In previsione della crescente domanda di trasporto, la società di gestione aeroportuale SAB ha da alcuni anni avviato una politica per ridurre l'impatto ambientale che l'aeroporto genera, individuando le principali sorgenti emmissive e, attraverso azioni mirate, mitigarne gli effetti.

L'elaborato è suddiviso in due parti.

Nella prima parte viene analizzato nel dettaglio l'impatto ambientale che le attività umane e le infrastrutture generano, in particolare quelle legate al trasporto; vengono inoltre discusse le politiche già avviate a livello europeo e nazionale per contenere le emissioni di gas nocivi per la salute dell'uomo e l'ecosistema che lo circonda. Il capitolo cinque che conclude questa prima parte, introduce un innovativo mezzo per dispatch towing, il Taxibot, nato da una collaborazione tra diverse società internazionali tra cui l'Airbus e l'Israel Aerospace Industries. L'utilizzo del Taxibot all'interno dell'infrastruttura aeroportuale permette di ridurre le emissioni di CO₂ legate alla procedura di taxi-out.

La seconda parte è un'analisi dei benefici ambientali ed economici che l'introduzione del Taxibot all'interno dell'aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna porterebbe. Sono state affrontate le principali criticità e limiti legati all'introduzione di una nuova tecnologia nell'ambiente aeroportuale, sviluppando un modello di studio replicabile in un qualunque contesto aeroportuale internazionale.

PARTE 1

1. IL MUTAMENTO CLIMATICO

L'alterazione climatica osservata negli ultimi decenni è il principale effetto delle attività umane sul pianeta terra ed è ormai noto che questo fenomeno è dato dall'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera terrestre il cui maggior contributo proviene dalla combustione dei carburanti fossili, i quali rilasciano diossido di carbonio nell'atmosfera.

I gas serra e l'effetto *aerosol* dovuto alle micro particelle derivanti dai residui di combustione meglio note come PM₁₀ e PM_{2.5}, influenzano il clima alterando il flusso radioattivo proveniente dal sole e quello infrarosso generato dalla terra che garantisce il naturale bilancio energetico terrestre. Variando la concentrazione e le proprietà dei gas e delle particelle presenti nell'atmosfera si può generare un surriscaldamento o un raffreddamento del sistema climatico, tale effetto diventa evidente dalla seconda metà del settecento con l'inizio dell'era industriale, momento in cui le attività umane nel consumo delle risorse si sono intensificate generando un costante incremento della temperatura superficiale della terra.

Come sottolineato dal rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change del 2007 (IPCC,2007) il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile. L'aumento di temperatura è diffuso indistintamente su tutti i punti del globo con un trend in crescita dal 1850, anno in cui sono iniziati i primi rilevamenti della temperatura terrestre e da cui si è registrato un aumento della temperatura media globale di 0,74°C. Le conseguenze di tale surriscaldamento, già approfonditamente trattate in letteratura, sono da considerarsi catastrofiche ed insostenibili dal punto di vista ambientale con dirette ricadute sociali ed economiche (Warren,2006).

1.1. RISCALDAMENTO GLOBALE E RADIATIVE FORCING

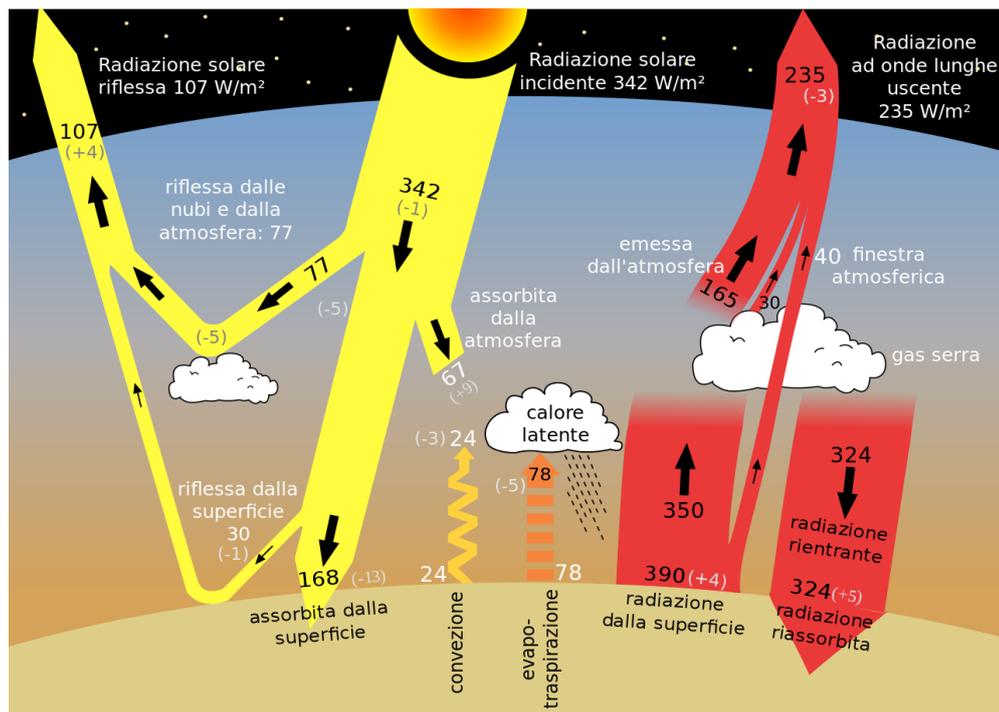


Figura 1. Rappresentazione del bilancio energetico terrestre (nasa).

La quantità di energia solare che raggiunge l'atmosfera ogni secondo in una superficie di un metro quadrato esposta alla luce del sole, è pari a 342 Watt. Circa il 30% del totale viene direttamente riflesso nello spazio dall'atmosfera e dei restanti due terzi solo la metà viene assorbita dalla superficie della terra per un totale di 168 Watt per metro quadrato. Per garantire il bilancio energetico la terra emette mediamente lo stesso quantitativo di energia verso lo spazio attraverso radiazioni ad onde lunghe le quali però non attraversano egualmente l'atmosfera come le onde corte emesse dal sole. Per poter emettere 240 Watt per metro quadrato la superficie della terra dovrebbe avere una temperatura di circa -19° centigradi, ovvero molto minore di quella mediamente registrata pari a $+14^{\circ}$ centigradi. La ragione per cui la temperatura è superiore a quella che garantirebbe un perfetto bilancio energetico è la presenza dei gas serra i quali agiscono come scudo riflettente per le radiazioni a onda lunga, emesse dalla terra verso lo spazio. Tale effetto a scudo è un naturale effetto dei gas serra. I due gas serra che influenzano maggiormente questo effetto scudo sono il vapore acqueo e il diossido di carbonio mentre i gas serra presenti in percentuali maggiori nell'atmosfera, ossigeno e azoto, non hanno un effetto rilevante in termini di riflessioni delle radiazioni terrestri.

L'attività umana, attraverso l'emissione di un ingente quantità di gas serra ha contribuito ad aumentare l'effetto scudo riflettente dell'atmosfera. Durante l'era di industrializzazione che ha caratterizzato il secolo scorso la presenza di diossido di carbonio in atmosfera è aumentata del 35% e tale incremento è prevalentemente dovuto all'uso di combustibili di origine fossile e alla deforestazione (attraverso il processo di fotosintesi le piante assorbono l'anidride carbonica ed emettono ossigeno contribuendo a ridurre la concentrazione di CO₂ in atmosfera).

L'evidente alterazione chimica dell'atmosfera ha portato ad un aumento delle radiazioni in assorbimento e conseguentemente ad un innalzamento della temperatura terrestre alterando il naturale bilancio energetico.

L'influenza di un fattore che può portare ad un cambiamento climatico, come i gas serra, viene spesso valutata in termini di Radiative forcing. Il Radiative forcing è la misura di come il bilancio energetico terra-atmosfera venga influenzato quando i fattori che condizionano il clima vengono alterati. Il livello radioattivo a cui è esposta la terra è aumentato a causa dell'alterazione di tali fattori che hanno portato ad un cambiamento nel bilancio tra onde lunghe entranti provenienti dal sole e onde infrarosse emesse dal pianeta terra.

La definizione di Radiative forcing adottata dall'IPCC afferma: “ *the radiative forcing is the change in net (down minus up) irradiance (solar plus longwave; in Wm⁻²) at the tropopause after allowing for stratospheric temperatures to readjust to radiative equilibrium, but with surface and tropospheric temperatures and state held fixed at the unperturbed values*” (Foster et al,2007). Il radiative forcing è quindi definito come un cambiamento nella radiazione netta media alla sommità della troposfera (tropopausa), generato da un cambiamento nella radiazione solare o infrarossa. Tale radiative forcing produce una perturbazione del bilancio energetico tra la radiazione entrante e quella uscente, con il tempo il sistema climatico reagisce alla perturbazione ristabilendo il bilancio radiativo.

Un forcing radiativo positivo tende mediamente a riscaldare la superficie mentre un forcing radiativo negativo tende mediamente a raffreddare la superficie. Se la presenza di gas serra oltre alla loro naturale concentrazione porta ad un aumento delle radiazioni entranti, affinché il bilancio radiativo venga ristabilito, la temperatura della troposfera e della superficie terrestre deve aumentare producendo un incremento della radiazione infrarossa uscente.

Esiste una relazione lineare di proporzionalità diretta tra la variazione globale di radiative forcing e la variazione di temperatura media terrestre per mezzo di un coefficiente di proporzionalità : $\Delta T = \lambda RF$. Il parametro lambda è definito come parametro di sensibilità climatica. Il contributo al radiative forcing di alcuni dei fattori connessi alle attività umane sono mostrate nella figura n°2 i cui valori si riferiscono ad un intervallo temporale che inizia con l'era industriale nel 1750.

Le figure n°2 e n°3 rappresentano le stime medie globali del radiative forcing relativo all'anno 2011 e le incertezze aggregate per i principali driver del cambiamento climatico. Le stime considerate maggiormente affidabili sono rappresentate da rombi neri e dai relativi intervalli d' incertezza. A lato della figura sono rappresentati i valori numerici e i relativi livelli di confidenza (VH - molto alto, H - alto, M - medio, L - basso, VL - molto basso).

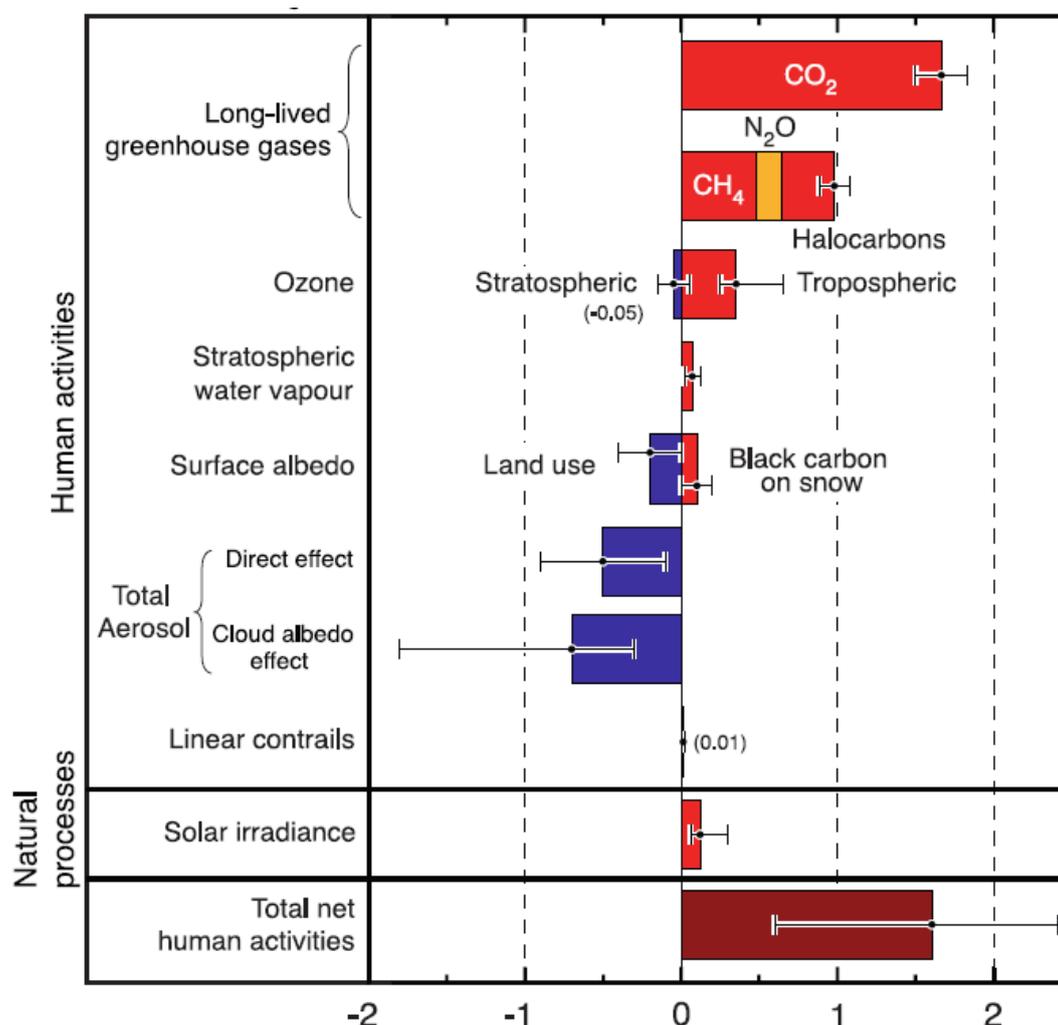


Figura 2. Principali driver del cambiamento climatico in relazione al radiative forcing. I valori rappresentano il radiative forcing nell'anno 2005 in relazione all'inizio dell'era industriale (1750)(IPCC 2013).

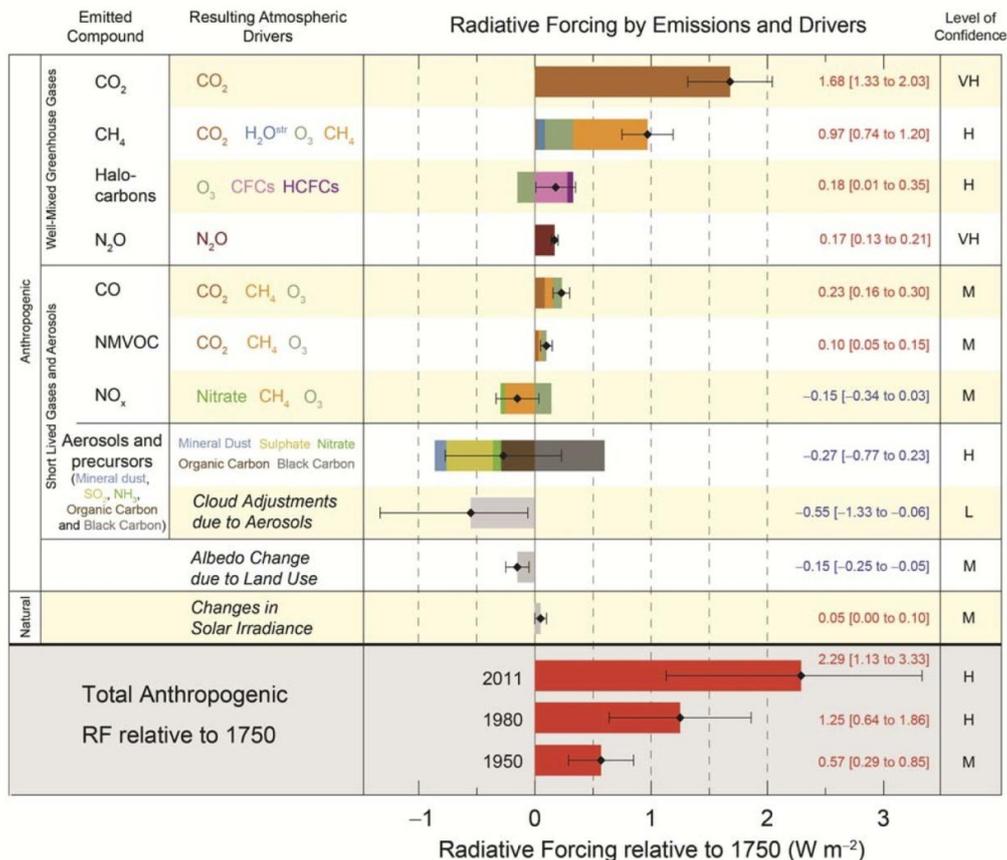


Figura 3. Principali gas serra responsabili del radiative forcing, anno 2011 (IPCC 2013).

1.2. I GAS SERRA

1.2.1 CO₂

Il diossido di carbonio è il più importante gas serra prodotto dall'attività umana, sia a livello chimico, reagendo con l'atmosfera ne altera la composizione chimica, sia per la lunga permanenza in atmosfera che può durare oltre 50 anni. Un chilogrammo di combustibile fossile utilizzato per i motori a Jet di un aeromobile produce approssimativamente 3.16 kg di CO₂. Sulla terra sono presenti quattro serbatoi naturali dove la CO₂ è presente con percentuali elevate: i mari, i sedimenti che includono i combustibili fossili che l'uomo impiega per produrre energia, la biosfera terrestre e l'atmosfera.

Alcuni organismi hanno la capacità di assorbire l'anidride carbonica e attraverso un processo naturale rilasciano ossigeno nell'aria accumulando in essi il carbonio, tra questi le piante che attraverso il processo di fotosintesi contribuiscono a ridurre la concentrazione di CO₂ presente nell'aria. Questo processo ha un impatto sulla concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera rilevante tanto da osservare un

aumento di concentrazione nei periodi invernali, a causa del rallentamento dell'attività di fotosintesi ed una naturale riduzione di concentrazione nei periodi estivi. La CO_2 viene inoltre emessa naturalmente da animali ed esseri umani nel processo di respirazione. Per questi ed altri motivi il concetto di concentrazione e bilancio di anidride carbonica viene spesso riferito ad un contesto globale. Gli oceani ricoprono l'importante ruolo di equilibratori nel bilancio di anidride carbonica in quanto hanno la capacità di assorbire e rilasciare CO_2 essendo questa solubile in acqua. La solubilità in acqua della CO_2 è però legata alla temperatura stessa dell'acqua con un rapporto inversamente proporzionale. Questo bilancio naturale senza l'influenza di attività antropiche è in pareggio, tuttavia data la condizione attuale si genera un accumulo di anidride carbonica non compensata dall'assorbimento dovuta prevalentemente allo sfruttamento dei combustibili fossili quali petrolio, carbone e gas naturali e a una diminuzione della superficie in assorbimento a causa della deforestazione.

Percentualmente l'attività umana contribuisce per 6-8 delle oltre 150 Gton di carbonio emesse nell'atmosfera ma tale contributo è sufficiente a generare un innalzamento della temperatura media globale (IPCC 2001). La concentrazione di anidride carbonica è cresciuta globalmente da 280 ppm registrate nella seconda metà del settecento al valore di 379 ppm registrate nell'anno 2005 con un trend di crescita annuo in continuo aumento (IPCC 2007).

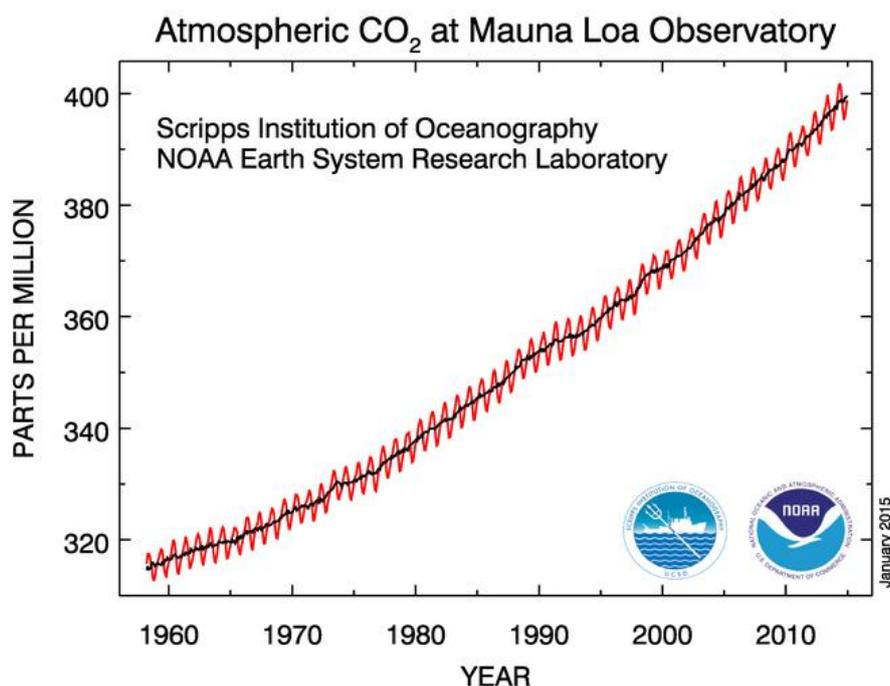


Figura 4. Trend di crescita della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera (IPCC 2007).

Essendo la produzione di CO₂ direttamente proporzionale alla quantità di combustibile bruciato, le politiche di riduzione delle emissioni si sono da sempre concentrate a migliorare l'efficienza degli apparati di combustione o a ridurre l'utilizzo.

1.2.2 NO_x

L'ossido di azoto (NO_x), nonostante la minore concentrazione a livello atmosferico, possiede una elevata capacità di reagire con altri gas serra come l'ozono producendo un effetto sul riscaldamento globale maggiore di quello prodotto dall'anidride carbonica: circa 200 volte.

La presenza di NO_x sulla superficie della terra risulta tanto più dannosa andando ad incidere direttamente sulla salute dell'uomo. La concentrazione di NO_x è giunta a valori di 31 9ppb con un tasso di crescita costante dall'era preindustriale dove si registravano concentrazioni di circa 270 ppb (IPCC 2007).

1.2.3 PM MICROPARTICOLATO

Il microparticolato presente in atmosfera influenza la visibilità e si deposita sulle piante generando una patina che ne riduce le capacità di fotosintesi e quando inalato può causare gravi effetti sulla salute dell'uomo.

Le principali fonti di microparticolato sono antropogeniche e legate ai processi di combustione ma anche all'usura di materiali quali pneumatici e dischi dei freni, in maniera naturale sono solo gli incendi e le eruzioni vulcaniche a produrre il microparticolato. Si trova in forma di micro particelle di materia, polvere, fumo e micro gocce di sostanze liquide note in gergo tecnico come aerosol.

Le implicazioni sulla salute dell'uomo sono legate alla dimensione delle particelle emesse e attualmente solamente le micro particelle PM₁₀ e PM_{2.5} con dimensione delle particelle rispettivamente di 10 e 2.5 micron sono regolamentate benché gli effetti di particelle con diametro inferiore possono causare danni anche maggiori penetrano nei polmoni e raggiungendo gli alveoli polmonari.

La CO₂ e l'NO_x contribuiscono in maniera differente al radiative forcing:

-le emissioni di CO₂ si traducono in un RF positivo e quindi contribuiscono al riscaldamento globale;

-le emissioni di NO_x portano alla formazione di O₃ nella troposfera alterandone la composizione chimica e producendo un RF positivo e quindi contribuiscono al riscaldamento globale;

-le emissioni di NO_x riducono il CH₄ presente in atmosfera alterandone la composizione chimica e producendo un RF negativo e quindi riducono l'effetto serra;

-le emissioni di particolato aumentano l'effetto riflettente che l'atmosfera ha sui raggi infrarossi emessi dalla terra contribuendo al riscaldamento globale;

-la produzione di vapore acqueo causato dalle scie di condensazione e dall'effetto vortice alle estremità delle ali produce un RF positivo contribuendo al riscaldamento globale;

1.3. IL CONTRIBUTO DEL TRASPORTO AEREO

I trasporti sono responsabili del 15% delle emissioni di gas serra a livello globale, a livello europeo questa percentuale aumenta sino al 25% dove i trasporti diventano i secondi maggiori contributori alle emissioni di gas serra dopo la produzione di energia termica ed elettrica.

I trasporti su strada caratterizzano i tre quarti dei trasporti all'interno dei confini europei e contribuiscono in maniera significativa alle emissioni di diossido di carbonio che si è visto essere il principale responsabile dell'aumento della temperatura media terrestre.

Un contributo significativo viene anche dal trasporto aereo il quale, a differenza di quello stradale ha un trend in crescente aumento. Mentre le emissioni di gas serra per altri settori sono mediamente diminuite del 24% tra il 1990 e il 2009, quelle provenienti dai trasporti sono aumentate del 29% nel medesimo intervallo temporale. Questo incremento, nonostante il netto miglioramento in termini di efficienza, è causato da una maggiore possibilità di viaggiare grazie all'abbattimento dei costi del trasporto aereo e all'aumento della disponibilità economica da parte nelle nazioni emergenti.

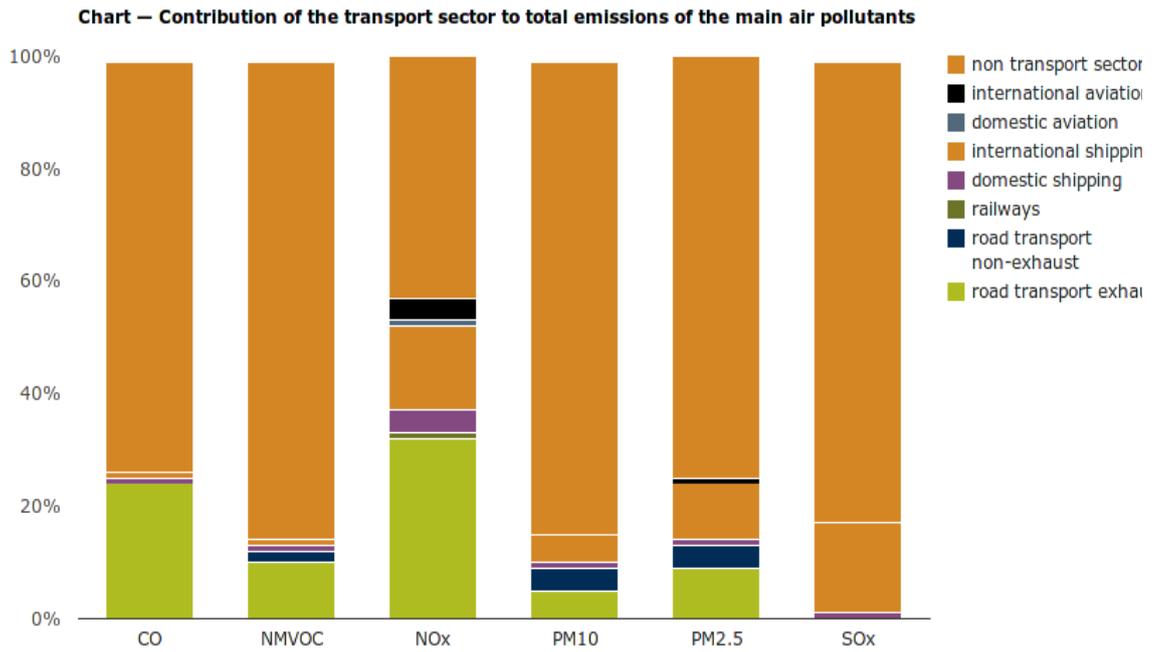
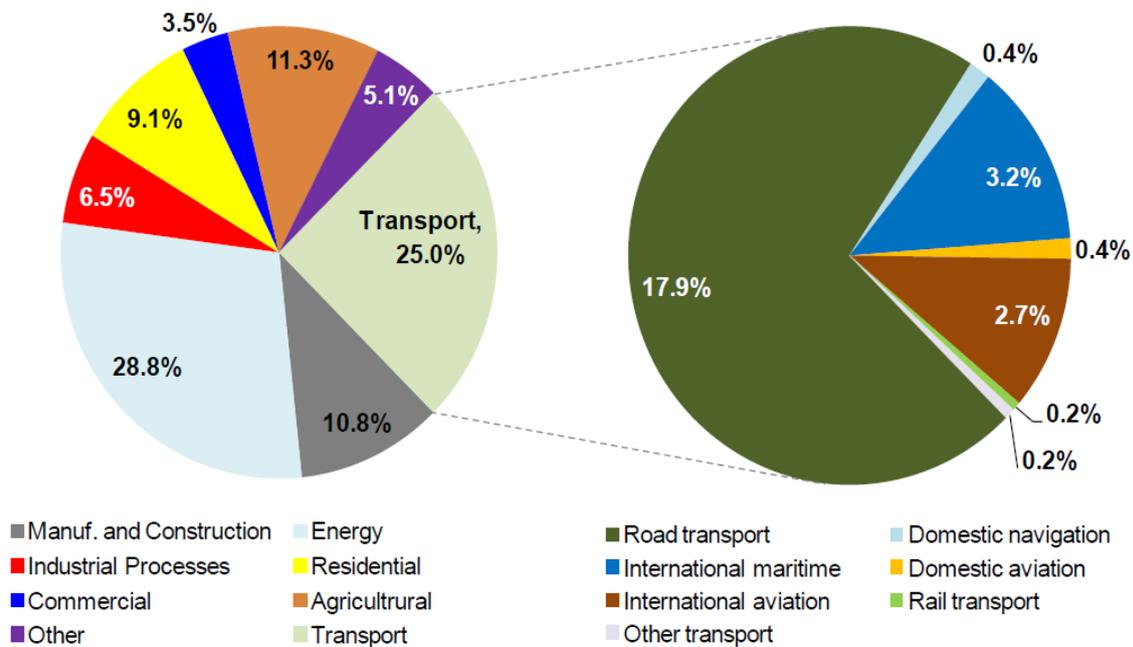


Figura 5. Contributo del settore trasporti alle emissioni di gas inquinanti (EEA 2012).



Source: EEA (2012)³

Notes: International aviation and maritime shipping only include emissions from bunker fuels

Figura 6. Emissioni di gas serra suddivisi per settore e modo di trasporto (EC 2007).

Uno dei principali e più facilmente osservabili effetti che il trasporto aereo crea a livello atmosferico sono le scie di condensazione. Le scie di condensazione, note anche con il termine di *contrail*, sono scie di vapore acqueo create dal passaggio di un aereo ad una quota in cui la temperatura è al di sotto dello zero. I casi in cui possono formarsi le scie di condensazione sono essenzialmente due, uno legato ai gas di scarico derivanti dalla propulsione dell'aereo e uno dovuto all'effetto vortice alle estremità delle ali dell'aereo. Le prime sono quelle notoriamente nocive e si generano a causa della rapida solidificazione in cristalli di ghiaccio del vapore acqueo rilasciato dai gas di scarico, la loro permanenza dipende dalle condizioni di temperatura e umidità della quota di volo.

Il vapore acqueo è uno dei principali gas serra a cui è associato l'effetto di riscaldamento globale, ma non è il solo effetto generato dal passaggio di un aereo, la combustione del cherosene, principale carburante di origine fossile utilizzato dall'aviazione civile, rilascia ingenti quantità di diossido di carbonio, ossido di azoto, microparticolato e altri gas inquinanti in minore quantità.

1.4. IL TREND IN CRESCITA DELL'AVIAZIONE

Il settore dell'aviazione civile è cresciuto notevolmente da quando l'invenzione dei motori a jet ha reso possibile viaggiare per lunghe distanze a costi più contenuti e con un confort maggiore.

Per il 2026 la ditta costruttrice di velivoli per l'aviazione civile e militare Airbus prevede che la flotta di aeromobili presente sul mercato raddoppi arrivando a contare oltre quarantamila velivoli di cui il 20% con un numero di sedute inferiore a 100, il 70% con un numero di sedute superiore a 100 e il 10% di veicoli per il trasporto merci (Airbus 2007).

Le stime prodotte dall'ICAO sul traffico aereo prevedono sino al 2030 un tasso di crescita annuo del numero di passeggeri espresso in RPK (RPK è il numero di posti per kilometro percorso) pari a +4.9% per un totale di 13bilioni, oltre tre volte il valore registrato nell'anno 2010 (ICAO environmental report 2013).

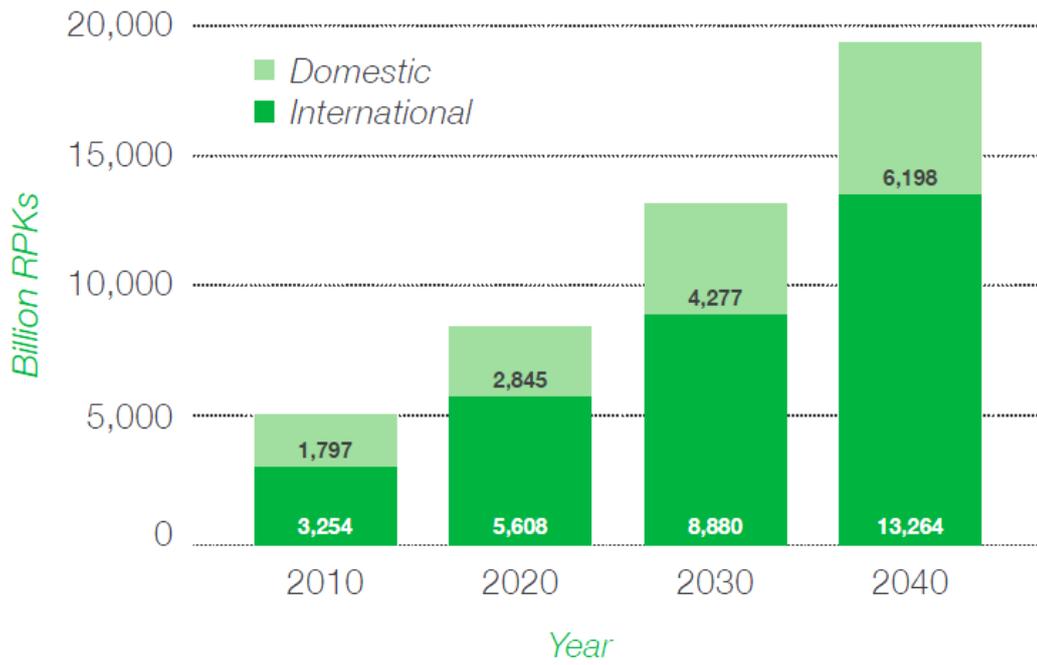


Figura 7. Previsione di crescita del traffico passeggeri (ICAO 2013).

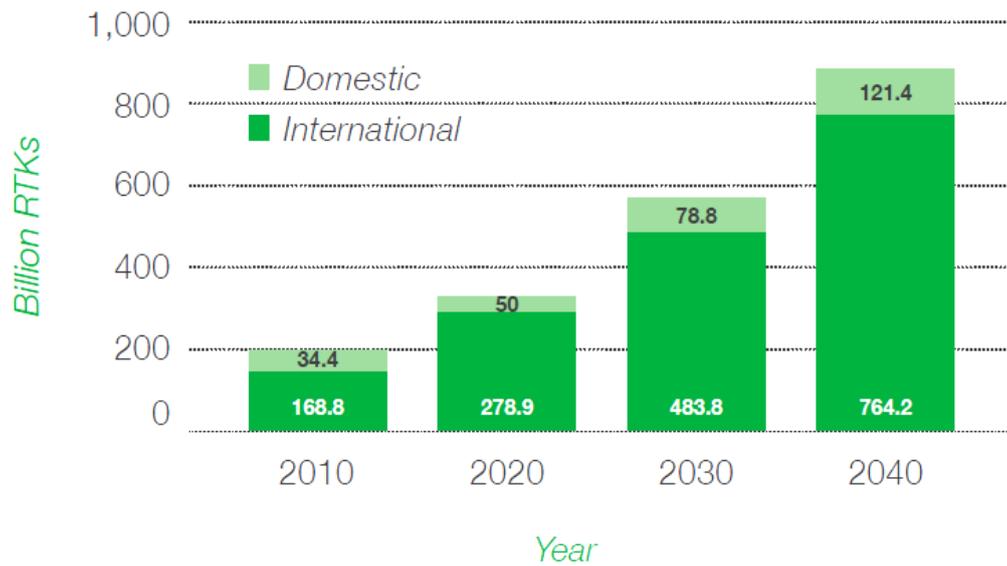


Figura 8. Previsione di crescita del traffico merci (ICAO 2013).

Le emissioni prodotte dall'aviazione civile non crescono con lo stesso tasso della domanda per due ragioni:

1. I nuovi modelli di aeromobile che entrano a far parte della flotta operante hanno una migliore performance riguardo al consumo di carburante; l'introduzione di questi e nuovi più efficienti modelli avviene in maniera graduale in quando la vita utile di un aeromobile si estende oltre i 25 anni .
2. Un secondo aspetto non trascurabile è la tendenza delle compagnie aeree, in prevalenza quelle low-cost ad aumentare il load factor viaggiando con un minor numero di posti inoccupati, a questo si somma un miglioramento dell'efficienza nelle operazioni di scalo e volo che ha contribuito a ridurre l'impatto ambientale.

Questi due aspetti portano ad un tasso di crescita in termini di emissioni inquinanti inferiore rispetto a quello che caratterizza la domanda.

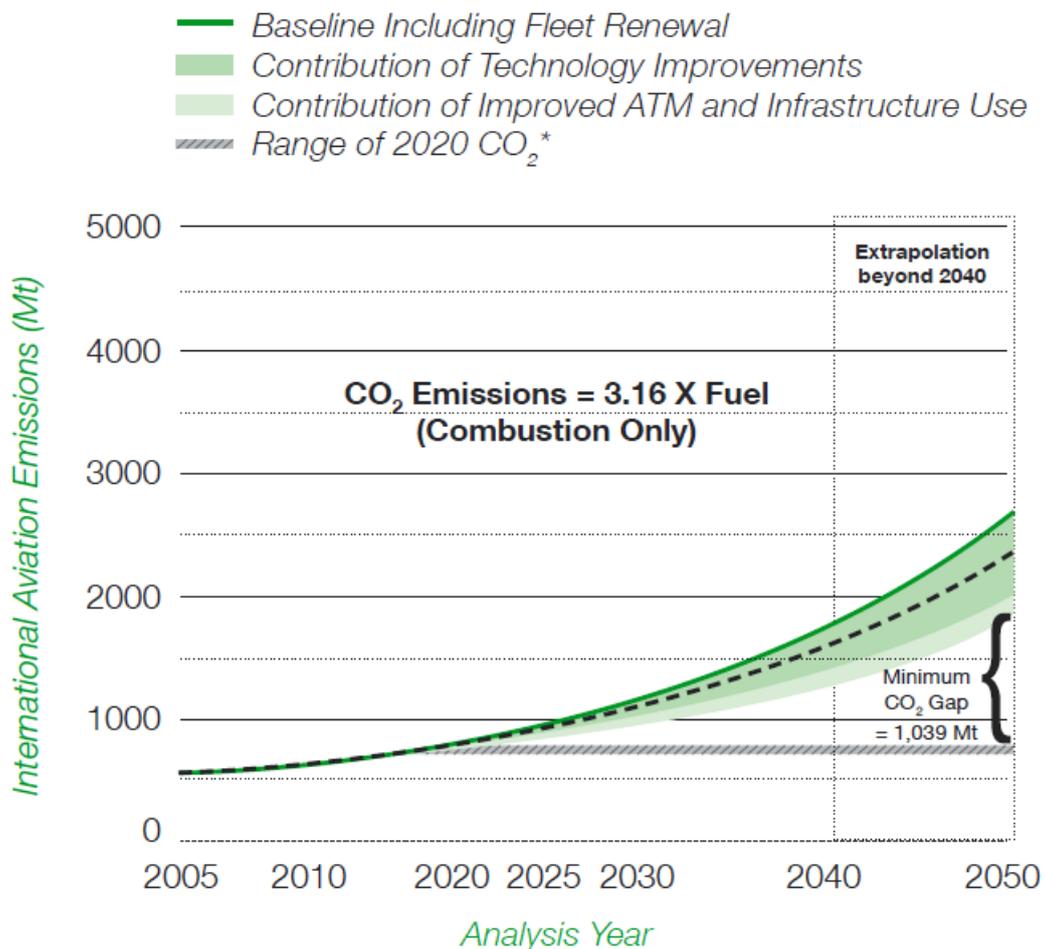


Figura 9. Previsioni di crescita delle emissioni di CO₂ relativamente al trasporto aereo(ICAO 2013).

1.5 LE POLITICHE DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

L'evidenza di un progressivo deterioramento degli equilibri climatici causato dall'attività umana ha reso necessaria una politica congiunta di interventi mirati a ridurre l'impatto che tali attività generano.

Il trasporto aereo rispetto ad altri settori responsabili degli effetti sul clima ha visto un rapido incremento negli ultimi 30 anni ed attualmente è il settore in maggior crescita, pertanto la maggior parte delle autorità dell'aviazione civile e le organizzazioni internazionali si sono impegnate a stabilire politiche per ridurre gli effetti negativi che il trasporto aereo produce sull'ambiente. Uno dei primi documenti redatti al fine di controllare le emissioni di gas serra nell'ambiente che ha visto la partecipazione della comunità internazionale è il protocollo di Kyoto. Il protocollo di Kyoto che riunisce le tematiche discusse alla convenzione quadro delle nazioni unite sui cambiamenti climatici, risale all'11 dicembre 1997 ed è stato sottoscritto da oltre 160 paesi e contiene l'impegno dei paesi sottoscrittori a ridurre le emissioni di alcuni gas responsabili dell'effetto serra. I gas serra soggetti a limitazione sono i seguenti:

- Biossido di carbonio (CO₂);
- Metano (CH₄);
- Protossido di azoto (N₂O);
- Idrofluorocarburi (HFC);
- Perfluorocarburi (PFC);
- Esafluoro di zolfo (SF₆).

L'Unione Europea che rappresenta l'istituzione che meglio promuove la mitigazione delle attività antropiche sull'ambiente, ha redatto nel 2011 una linea d'azione da perseguire verso un modello di trasporto più sostenibile sviluppandola "*Roadmap to a single european transport area-towards a competitive and resource efficient transport system*", una strategia che mira a definire le metodologie più efficienti per la riduzione delle emissioni dei gas serra con l'obiettivo di raggiungere una riduzione dell'80% delle emissioni prodotte entro il 2050. La roadmap individua un percorso

per ogni settore, identificando l'impatto in termini di riduzione, sviluppando scenari di crescita differenti.

Per il settore dei trasporti (che include la CO₂ emessa dall'aviazione civile) il target fissato per il 2050 è compreso tra un -54% e -67%. La roadmap per il settore trasporti sottolinea come questi livelli di riduzione debbano essere raggiunti perseguendo una maggiore efficienza non solo legata allo sviluppo di nuove tecnologie ma anche attraverso una riorganizzazione delle operazioni nell'Air-Side (area adibita alla movimentazione degli aeromobili).

Le misure strategiche da intraprendere al fine di mitigare gli impatti climatici dell'aviazione possono essere suddivise in tre categorie.

- Una regolamentazione emanata da un corpo governativo o da un'agenzia internazionale, i quali ne monitorano l'adempimento. Appartengono a questa il protocollo di Kyoto e la Roadmap europea e la normativa ICAO (International Civil Aviation Organization) che regola le emissioni inquinanti dei motori degli aeromobili e le leggi nazionali ed internazionali che impongono valori massimi di concentrazione degli agenti inquinanti.
- In termini di miglioramento dell'efficienza dei motori a propulsione che caratterizzano in larga parte la flotta aerea in commercio e che sono direttamente responsabili delle emissioni di CO₂ e NO_x nell'atmosfera, la domanda a cui bisogna rispondere è: quanto è necessario ridurre e cosa è più importante ridurre? La domanda scaturisce da due differenti necessità, da un lato la riduzione dei costi e quindi del combustibile utilizzato che permetterebbe una minore produzione di CO₂ e dall'altro la riduzione di NO_x emesso, il quale è legato unicamente all'impatto ambientale che questo genera e per questo regolamentato dall'ICAO.

Lo sviluppo di motori che hanno una maggiore efficienza in termini di consumo di carburante conduce ad una maggiore produzione di NO_x a causa dell'alta temperatura e pressione di cui questi necessitano in fase di funzionamento.

Problematiche di questo tipo hanno portato a considerare combustibili alternativi al kerosene quali i biocombustibili e l'idrogeno *Liquid H₂*. Entrambe le soluzioni presentano problematiche legate ad una produzione

sostenibile che garantisca un bilancio positivo in termini di emissioni. L'idrogeno è il combustibile alternativo maggiormente investigato in quanto l'impatto generato dalla combustione è legato al rilascio di H₂O, ma la produzione di idrogeno richiede l'impiego di un quantitativo di energia che porta ad un bilancio negativo e pertanto attualmente non è sostenibile il suo impiego; altri fattori sono legati alla differente configurazione che un aeromobile a idrogeno dovrebbe adottare, avendo quest'ultimo un volume 4 volte superiore del kerosene a parità di energia sviluppata.

- Una differente strategia di intervento è basata sui Market Based Measures, i meccanismi di mercato che fissano un limite alle emissioni e garantendo incentivi economici o imponendo una tassazione, inducono al rispetto dei limiti imposti.

Un meccanismo di mercato sviluppato nel 2005 a livello europeo e in corso di attuazione è l'Emission trading system ETS. La direttiva del primo gennaio 2005 prevede che tutte le imprese Energy intensive ovvero quegli stabilimenti che hanno un impatto considerevole sulle emissioni di gas serra, tra cui gli stabilimenti di produzione di energia elettrica, le raffinerie, acciaierie ecc, debbano munirsi di un'autorizzazione in cui viene specificato il limite di emissioni che tali stabilimenti possono generare assegnando un numero di quote che quantificano il livello di emissioni. Le imprese in deficit di quote possono acquistarle sul mercato delle emissioni da altre imprese virtuose che sono in surplus di quote. Questo meccanismo di trading induce una quotazione delle emissioni incentivando le imprese ad investire in tecnologie che ne garantiscano la riduzione al fine di beneficiare di un surplus di quotazione che può essere rivenduto.

La direttiva 2008/101/CE del Parlamento europeo estende all'aviazione civile il sistema di quote già largamente diffuso in altri settori industriali applicandolo direttamente agli operatori aerei. Benché la direttiva dovesse essere applicata già a partire dal gennaio 2012 per tutti i voli in partenza o in arrivo dall'Europa, è stata sospesa sino al 2020 per coprire il gap legislativo che si è venuto a creare in mancanza di una regolamentazione condivisa.

2. L' IMPATTO AMBIENTALE DELL' INFRASTRUTTURA AEROPORTUALE

Alcuni recenti studi dell'IEA (International Energy Agency,2009) confermano che il settore dei trasporti genera l'emissione di oltre il 26% della CO₂ in atmosfera (ICAO 2010).

Il sistema di trasporto aereo produce diversi impatti ambientali, in particolare quando il numero di movimenti aerei si intensifica e l'effetto non ricade più unicamente sulle comunità residenti nell'area attorno alla struttura aeroportuale, ma diventa un limite alla crescita del traffico aereo. A causa di ciò alcune importanti organizzazioni tra cui l'ICAO, L'ESA(European Aviation Safety Agency) e la FAA (Federal Aviation Administration) hanno sottolineato l'importanza nel perseguire politiche atte a rendere sostenibile il sistema di trasporto aereo.

Gli sviluppi futuri dell'industria del trasporto aereo come traino della crescita socio economica dei paesi è condizionata dall'abilità di raggiungere e preservare la sostenibilità delle operazioni dell'aviazione civile. Questo intento è possibile solo attraverso il coordinamento di politiche internazionali per la valutazione dell'impatto ambientale affiancate agli investimenti in campo tecnologico per migliorare l'efficienza delle infrastrutture.

Un inventario completo che individui i contribuenti e le emissioni da essi causate, diventa lo strumento più efficace per permettere ulteriori sviluppi e incrementi delle attività aeroportuali. Sorgenti di emissioni in ambito aeroportuale comprendono aerei, equipaggiamenti per il supporto delle operazioni di terra, sistemi di alimentazione, ma anche le attività legate ai servizi per i viaggiatori e le modalità di trasporto per il raggiungimento dell'aeroporto.

2.1 DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA AEROPORTUALE

L'aeroporto è un nodo di interscambio modale della rete di trasporto, dove gli utenti si trasferiscono da sistemi di trasporto di terra ad un sistemi di trasporto aereo e viceversa. In particolare, un flusso continuo di passeggeri in arrivo viene trasformato in un flusso discreto di aerei in partenza e viceversa. Il bacino di utenza di un aeroporto dipende da diversi fattori tra cui la posizione geografica che ne rende appetibile l'utilizzo e l'efficienza nella connessione con la rete di trasporto multimodale.

L'infrastruttura aeroportuale e le operazioni ad essa connesse si suddividono in air-side e land-side.

L'air-side comprende le aree destinate alla movimentazione degli aeromobili, la runway, taxiways e quelle destinate allo stazionamento, l'apron e gli stand.

Il land-side è costituito da tutte le infrastrutture di servizio, transito ed accesso che permettono di raggiungere l'air-side, ad uso degli utenti, personale di volo e passeggeri. Il confine tra le due aree è rappresentato dai Gates.

La capacità dell'air-side e del land-side viene calcolata per mezzo del numero di movimenti, decolli ed atterraggi per unità di tempo e rispettivamente per numero di passeggeri serviti nell'unità di tempo.

2.1.1 CLASSIFICAZIONE ICAO

Un aeroporto viene individuato attraverso la classificazione ICAO che fa riferimento alle caratteristiche geometriche dell'aeroporto. Questa classificazione è costituita da un Codice di riferimento denominato Aerodrome Reference Code e ed formata da due parti: il Code Number, costituito da un numero compreso tra 1 e 4 che si riferisce alla lunghezza della pista assunta come riferimento, ovvero quella in cui si prevede decollerà l'aereo che con maggiore probabilità fa uso dell'infrastruttura aeroportuale, detto *aereo critico*; ed una seconda parte letterale, il Code Letter variabile da A a F che individua la dimensione maggiore tra l'apertura alare e la larghezza massima del carrello principale dell'aereo critico. La tabella sottostante riassume il metodo ICAO di classificazione aeroportuale.

PRIMO ELEMENTO DEL CODICE		SECONDO ELEMENTO DEL CODICE		
NUMERO CODICE	LUNGHEZZA PISTA [m]	CODICE	APERTURA ALARE [m]	LARGHEZZA MASSIMA CARRELLO [m]
1	$l < 800$	A	$l < 15$	$l < 4,5$
2	$800 \leq l < 1200$	B	$15 \leq l < 24$	$4,5 \leq l < 6,0$
3	$1200 \leq l < 1800$	C	$24 \leq l < 36$	$6,0 \leq l < 9,0$
4	$l \geq 1800$	D	$36 \leq l < 52$	$9,0 \leq l < 14,0$
		E	$52 \leq l < 65$	$9,0 \leq l < 14,0$
		F	$l \geq 65$	$14,0 \leq l < 16,0$

Tab 1. Classificazione aeroportuale ICAO.

2.1.2 ELEMENTI DELL'INFRASTRUTTURA AEROPORTUALE

L'infrastruttura aeroportuale è costituita da diversi elementi di cui se ne riporta un'essenziale descrizione prendendo come riferimento l'Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna:

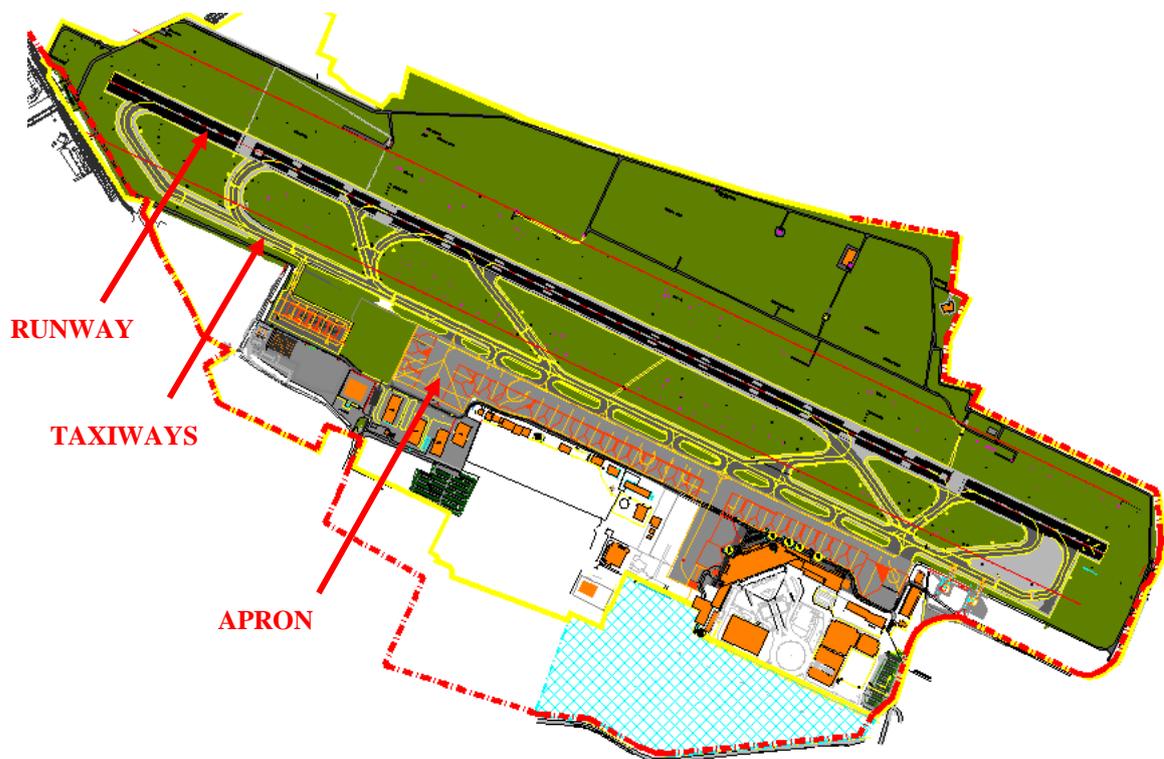


Fig 10. Planimetria Aeroporto Guglielmo Marconi (Bologna 2015).

- pista di volo (runway): area designata alle operazioni di decollo e atterraggio degli aeromobili;
- vie di rullaggio (taxiways): vie di collegamento tra le aree di sosta e le piste di volo in cui gli aeromobili possono muoversi entro limiti spaziali e di velocità ben definiti;
- raccordi in rapida uscita (rapid exit taxi way): vie di rullaggio che collegano punti intermedi della pista di volo per permettere agli aeromobili in atterraggio di liberare rapidamente la pista di volo senza dover giungere al termine della stessa, la velocità consentita è maggiore rispetto alle normali vie di rullaggio;
- aree di attesa: in prossimità delle teste della pista di volo con la funzione di accogliere gli aeromobili in coda per la procedura di decollo (piazzole scaldate motori);
- aree di stazionamento (apron): aree di sosta dedicate alle operazioni di carico, scarico, rifornimento e manutenzione ordinaria;

Le piste con i raccordi e le vie di circolazione rappresentano l'area operativa, mentre i piazzali di sosta e l'aerostazione costituiscono l'area terminale, infine le aviorimesse con le annesse officine ed i piazzali di sosta tecnica formano l'area di manutenzione.

Ogni aeroporto è completato dai servizi di assistenza e controllo del volo posti all'interno della torre di controllo, dal servizio antincendio, dalla direzione dell'aeroporto e dagli impianti necessari al mantenimento dell'infrastruttura, all'accoglimento e al servizio dell'utenza.

PISTA DI VOLO-RUNWAY

La pista di volo è definita come la striscia di terreno, generalmente pavimentata, destinata alle procedure di decollo e atterraggio degli aeromobili e quindi in grado di supportare le sollecitazioni trasmesse dai carrelli. Le piste di volo possono essere dotate di un sistema di assistenza alla fase di atterraggio noto come Instrumental landing system (ILS) che garantisce le operazioni anche in condizioni meteorologiche avverse, tali piste sono dette *strumentali*, la mancanza di un sistema

ILS o altri che permettano l'avvicinamento di precisione è caratteristico delle piste adatte esclusivamente al volo a vista.

La pista di volo è individuata da una coppia di numeri rispettivamente associati alle testate della pista che individuano la direzione di pista pari all'azimut magnetico.

Ai lati della pista di volo, corrono parallele le banchine di pista (runway shoulders) la cui funzione è quella di allontanare il bordo della pista dai motori al fine di evitare l'intromissione di polveri o detriti. Per la determinazione della lunghezza di pista si fa riferimento alla procedura di decollo dell'aereo critico, ovvero quel velivolo che con maggiore probabilità utilizzerà l'infrastruttura aeroportuale.

VIE DI RULLAGGIO (TAXI WAY)

Le vie di rullaggio permettono il collegamento tra le aree di sosta in prossimità dei piazzali e le testate della pista di volo. Le vie di rullaggio devono garantire il movimento ordinato e sicuro degli aeromobili a velocità non superiore a 50km/h. Nell'eventualità in cui siano presenti raccordi in rapida uscita devono essere collegati per mezzo delle vie di rullaggio, alle aree di sosta per garantire il rapido disimpegno della pista di volo.

La normativa ICAO prevede che l'angolo di attacco, con cui i raccordi di innestano nella pista di volo, sia compreso tra i 25° e i 45°

RUNWAY SHOULDERS

Al fine di garantire maggiore protezione e sicurezza dagli aeromobili vengono aggiunte alle piste di volo delle banchine laterali che hanno una doppia funzione: permettono di distanziare maggiormente le turbine dei motori dall'area adiacente alla pista non pavimentata limitando la possibilità che detriti e polveri finiscano all'interno della turbina danneggiandola, ed inoltre permettono il passaggio di mezzi di emergenza e di manutenzione o consentono il passaggio di un veicolo che inverte la sua direzione.

AREE DI STAZIONAMENTO (APRON)

Nelle aree di stazionamento degli aeromobili avvengono le procedure di imbarco e sbarco dei passeggeri o scarico e scarico merci e le normali procedure di manutenzione, rifornimento, pulizia dell'aeromobile. Date le differenti tipologie di aeromobili che utilizzano l'infrastruttura aeroportuale le aree di sosta vengono dedicate in funzione delle caratteristiche fisiche dimensionali degli aeromobili. Le aree di stazionamento devono garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche al fine di evitarne l'accumulo. Nell'eventualità in cui l'aeroporto ubicato in una area geografica in cui sia possibile il verificarsi di condizioni meteorologiche compatibili con la formazione di ghiaccio sugli aeromobili, devono essere previsti piazzali di sghiacciamento (de-icing zone) in cui effettuare operazioni di rimozione del ghiaccio o neve.

L'ICAO assegna un Code Letter variabile da A ad F con cui si individua la distanza minima tra due aeromobili in stazionamento nei piazzali, tale Code Letter dipende dall'apertura alare degli aeromobili ed è di seguito sintetizzato:

LETTERA DI CODICE	DISTANZA [m]
A	3
B	3
C	4,5
D	7,5
E	7,5
F	7,5

Tab 2. Distanze minime di sicurezza che devono essere garantite tra aeromobili affiancati.

2.2 EMISSIONI DI ORIGINE AEROPORTUALE

Le principali sorgenti emissive nel contesto aeroportuale sono quelle legate alle attività dell'airside, la movimentazione di terra dei velivoli nelle procedure di atterraggio e decollo e i servizi di handling ad esse legate. Il numero di movimenti in un aeroporto dipende dalla domanda di trasporto e l'impatto ambientale connesso è influenzato dalla tipologia di aeromobili necessari a soddisfare tale domanda e dal

loro fattore di carico. Ad ogni operazione di terra è legato l'utilizzo di un determinato numero di veicoli di supporto i quali a loro volta contribuiscono alle emissioni aeroportuali.

Le emissioni dovute alle attività dell'airside possono essere stimate se è noto il numero di movimenti di terra, decolli e atterraggi e conoscendo la tipologia e il numero di veicoli necessari.

La tabella sottostante riassume le sorgenti emissive divise per *scope* (ambito) di appartenenza.

SORGENTE	DESCRIZIONE	COMMENTI
Scope 1. Airport Owned or Controlled Sources		
Power plant	<i>Airport-owned heat, cooling and electricity production</i>	
Fleet vehicles	<i>Airport-owned (or leased) vehicles for passenger transport, maintenance vehicles and machinery operating both airside and landside.</i>	
Airport maintenance	<i>Activities for the maintenance of the airport infrastructure: cleaning, repairs, green spaces, farming, and other vehicles</i>	
Ground Support Equipment (GSE)	<i>Airport-owned equipment for the handling and servicing of aircraft on the ground.</i>	<i>Note that few airports own the actual GSE that service aircraft.</i>
Emergency power	<i>Diesel generators for emergency power</i>	
Fire practice	<i>Fire training equipment and materials</i>	
Waste disposed on-site	<i>Airport-owned waste incineration or treatment from airport sources</i>	
Scope 2. Off-site Electricity Generation		
Electricity (and heating or cooling) generation	<i>Emissions made off-site from the generation of electricity (and heating or cooling) purchased by the airport operator.</i>	
Scope 3: Other Airport-Related Activities and Sources		
Scope 3A: Scope 3 Sources an Airport Operator Can Influence		
Aircraft main engines	<i>Aircraft main engines during taxiing and queuing</i>	
APU	<i>Aircraft Auxiliary Power Units (APU)</i>	
Landside Road traffic/Ground Access Vehicles (GAV)	<i>All landside vehicles not owned by airport operator, operating on airport property.</i>	
Airside vehicle traffic	<i>All vehicles operated by third parties (tenants, airlines, etc) on airport airside premises</i>	
Corporate Travel	<i>Flights taken on airport company business</i>	
Ground Support Equipment (GSE)	<i>Tenant or contractor owned GSE for the handling and servicing of aircraft on the ground, if airport could provide alternative fuels or otherwise influence operation.</i>	<i>Otherwise Scope 3B.</i>
Construction	<i>All construction activities, usually conducted by contractors.</i>	
Scope 3B: Scope 3 Sources an Airport Operator Cannot Influence		
Aircraft main engines	<i>Aircraft main engines in the LTO cycle, excluding taxiing</i>	<i>Landing emissions could be Scope 3A.</i>
	<i>Aircraft emissions during cruise on flights to or from airport</i>	<i>ACRP recommends that an airport report whole-offflight emissions for departing flights</i>
Ground Support Equipment (GSE)	<i>Tenant or contractor owned GSE for the handling and servicing of aircraft on the ground.</i>	<i>Could be Scope 3A if airports provide alternative fuels</i>

		<i>supplies.</i>
Landside Road traffic/Ground Access Vehicles (GAV)	<i>All landside vehicles related to the airport, operating off-site and not owned by airport operator, including private cars, hotel and car rental shuttles, buses, goods delivery trucks, freight trucks.</i>	<i>Passenger and staff vehicle trip would include whole of journey from home.</i>
Electricity and other external energy	<i>Emissions from generation of electricity, heating and cooling purchased by tenants including airlines</i>	
Aircraft and engine maintenance	<i>Airline or other tenant activities and infrastructure for aircraft maintenance: washing, cleaning, painting, engine run-ups</i>	
Rail traffic	<i>Rail traffic and other ground transport related to the airport</i>	
Waste disposed of off-site	<i>Off-site waste incineration or treatment from airport sources.</i>	

La procedura che permette di stimare le emissioni aeroportuali è preceduta da una fase in cui vengono definiti i confini dell'analisi al fine di individuare le attività controllate o sotto la diretta responsabilità della direzione aeroportuale e quelle che contrariamente sono solo connesse ad esse e il cui impatto ambientale non è imputabile al sistema aeroportuale. Le sorgenti e i gas serra che queste producono possono essere suddivise in dirette ed indirette, in accordo con ACI (Airports Council International, 2009) tale procedura avviene identificando gli scopes:

- scope 1 (dirette): emissioni di gas serra da sorgenti di proprietà o controllate dall'operatore aeroportuale;
- scope 2(indirette) : emissioni di gas serra da sorgenti che producono l'energia necessaria alle attività dell'operatore aeroportuale: energia elettrica, energia di riscaldamento e raffreddamento degli ambienti aeroportuali;
- scope 3 (indirette) : emissioni di gas serra che sono una conseguenza delle attività dell'operatore aeroportuale ma che sono di proprietà o controllate da altri operatori
 - scope 3A: emissioni che l'operatore aeroportuale può influenzare benché non ne sia il diretto controllore
 - scope 3B: emissione che l'operatore aeroportuale non può influenzare in alcun modo.

Del terzo scope appartengono le emissioni generate dai motori degli aeromobili che, benché non siano direttamente controllate dall'operatore aeroportuale ma dagli

operatori delle compagnie aeree e dipendano da innumerevoli fattori, tra cui la tipologia di aeromobile, possono essere fortemente influenzate dall'operatore aeroportuale attraverso politiche di gestione delle operazioni di movimento a terra che riducano l'utilizzo dei motori. A queste emissioni sono correlate quelle appartenenti allo scope 1 derivanti dall'utilizzo dei veicoli per il supporto delle operazioni di terra.

3. L'AREOPORTO GUGLIELMO MARCONI BOLOGNA



Figura 11. Volo Alitalia in partenza dall' Aeroporto Guglielmo Marconi(Bologna 2014).

La città di Bologna, nel nord dell'Italia, ha una posizione geografica strategica in quanto è collegata alle principali reti di trasporto stradale e ferroviario italiane e queste caratteristiche hanno determinato il formarsi di un bacino di circa dieci milioni di utenze che si estende in prevalenza nel centro-nord Italia.

L'aeroporto è situato a circa 5 km dal centro città ed è servito da un sistema dedicato di aero-bus che lo collega ai vari punti della città. Il recente collegamento della città di Bologna alla rete ferroviaria ad alta velocità ha aumentato il bacino di utenza dello scalo aeroportuale garantendo un rapido collegamento con le principali città del nord Italia.

Il terminal aeroportuale è diviso su due piani e comprende una superficie di 36.100m² di cui 5500 dedicati alle attività commerciali; vi sono 24 gates per l'imbarco e 10 checkpoint di sicurezza.

L'aeroporto serve (bilancio sostenibilità 2013) 88 scali nazionali ed internazionali ed è direttamente connesso ad oltre 30 paesi nel mondo. Nell'anno 2012 sono transitati

oltre 6 milioni di passeggeri con un incremento dell'1,2% rispetto all'anno precedente per un totale di 67.257 aerei decollati e atterrati.

LONGITUDINE E LATITUDINE	44°31'51"N - 11°17'49"E [WGS84]
ELEVAZIONE S.L.M.	123 FT / 37m s.l.m.
DECLINAZIONE MAGNETICA	VAR+1°29' E - (2005.0) / 5' E
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	29,7° C
LUNGHEZZA MASSIMA DI PISTA DI RIFERIMENTO DISPONIBILE	2803m
LUNGHEZZA MASSIMA CORRETTA DI PISTA DI RIFERIMENTO DISPONIBILE	2425m
CODICE DI PISTA	4D

Tab 3. Dati principali Aeroporto Guglielmo Marconi.

Durante le ore di picco la capacità aeroportuale raggiunge 26 movimenti all'ora e per ognuno di questi sono necessari i seguenti servizi di handling:

1 ASU; 1GPU; 1 o 2 conveyor belts; 1 o 2 passenger steps; 1 o 2 apron bus; 1 tow; 1 toilet and water truck; 1 trailer; 1 cargo loader; 1 o 2 cars.

Gli equipaggiamenti per il servizio di handling presenti all'aeroporto di Bologna sono riassunti nella tabella 4

TYPE OF EQUIPMENT	TOTAL NUMBER
Aistart unit (ASU)	2
Aircraft cooling unit (ACU)	1
Ground power unit (GPU)	11
Conveyor belts	11
Passenger steps	19
Apron bus	8
TOW-TUGS	3
TOW-BARLESS	5
Toilet service truck	2
Potable water truck	1
Trailers	24
Cargo loaders	6
Transporter loaders	2
Cars	20
Minibus	3

Tab 4. Equipaggiamento mezzi handling Aeroporto Guglielmo Marconi (2012).

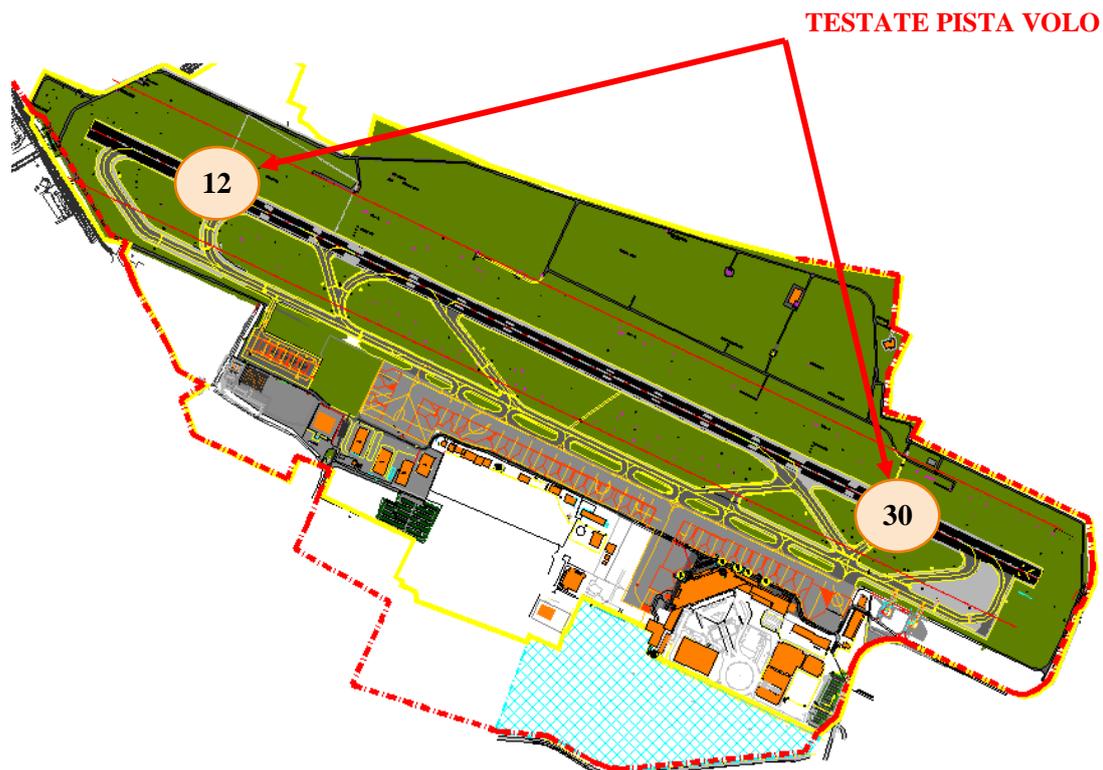


Fig 12. Planimetria Aeroporto Guglielmo Maroni (Bologna 2015).

L'aeroporto è dotato di un'unica pista di volo, RWY 12/30 (runway) di codice 4 con dimensioni pari a 2.803m di lunghezza e 45m di larghezza. La RWY 12 è orientata in direzione NW-SE con angolo di 115° rispetto al nord magnetico, mentre la RWY 30 è orientata a 295° rispetto al nord magnetico. La pista di volo è ubicata all'interno della più estesa runway strip per una dimensione di 2923x300m. Un prolungamento (clearway) rettangolare di dimensioni 120x180 m per la RWY 12 e 60x180 m per la RWY30 è posto ad ognuna delle estremità della pista di volo. Al termine della clearway all'estremità della testata 12 è posta una zona di sicurezza RESA (runway end safety area) di dimensioni quadrate 90x90 metri mentre in direzione opposta questa assume dimensioni 120x90 metri. Nelle tabelle sottostanti sono riassunte le principali caratteristiche dello scalo in esame. I dati sono estrapolati dal "Manuale dell'Aeroporto".

DATI PISTA N°		
	12	30
TIPO DI AVVICINAMENTO	strumentale di precisione fino a CAT III B	non strumentale
ORIENTAMENTO MAGNETICO	115°	295°
DIMENSIONE PISTA	2803x45 (9190x148)	2803x45 (9190x148)
LARGHEZZA SHOULDER	7,50+7,50 (25x25)	7,50+7,50 (25x25)
TIPO PAVIMENTAZIONE E PORTANZA PISTA	conglomerato bituminoso PCN 71/F/A/X/T	conglomerato bituminoso PCN 71/F/A/X/T
COORDINATE SOGLIA	44°32'24.01" N 11°16'33.55" E	44°31'52.97" N 11°17'59.79" E
ELEVAZIONE SOGLIA ELEVAZIONE FINE PISTA	120 FT 119 FT	120 FT 123 FT
ELEVAZIONE MASSIMA TDZ	120 FT	120
PENDENZA LONGITUDINALE COMPLESSIVA	0,05%	0,05%
PENDENZA LONGITUDINALE LIVELLETTE	variabili tra 0,02 e 0,50 %	variabili tra 0,01 e 0,50 %
PENDENZA LONGITUDINALE PRIMO E ULTIMO QUARTO PISTA	< 0,8 %	< 0,8 %
PENDENZA TRASVERSALE PISTA	variabile tra 1,00 e 1,50 % (superficie >85 % totale)	variabile tra 1,00 e 1,50 % (superficie >85 % totale)
	variabile tra 1,50 e 1,70 % (superficie < 15 % totale)	variabile tra 1,50 e 1,70 % (superficie < 15 % totale)
PENDENZA TRASVERSALE SHOULDER	< 2,5 %	< 2,5 %
PENDENZA TRASFERSALE CGA	< 2,5 % (superficie > 95 % totale)	< 2,5 % (superficie > 95 % totale)
	> 2,5 % (superficie < 5 % totale)	> 2,5 % (superficie < 5 % totale)
PENDENZA LONGITUDINALE CGA	< 1,5 %	< 1,5 %
DIMENSIONE STOPWAY	NON ESISTENTE	NON ESISTENTE
DIMENSIONE CLEARWAY	120x180 (394x590)	60x180 (197x590)

DIMENSIONE RESA	90x90 (295x295)	120x90 (394x295)
DIMENSIONE STRISCIA / STRIP	2923x300 (9584x984)	2923x300 (9584x984)
ZONA LIBERA DA OSTAZOLI (OFZ)	SI	NON APPLICABILE
AREA PROTEZIONE FUNZIONAMENTO RADIOALIMETRO	300x120 (984x394)	NON APPLICABILE
PORTANZA CGA E STRISCIA DI SICUREZZA	conforme al punto 4.5.2 cap.3 regolamento	

Tab 5. Caratteristiche tecniche piste 12 e 30, Aeroporto Guglielmo Marconi.

VIE DI RULLAGGIO (TAXI WAY)

La taxiway principale T (tango) ha una larghezza di 23 metri ed è collegata alla pista di volo attraverso dieci taxiways secondarie denominate A (Alfa) B(Bravo) C (Charly) D (Delta) E (Echo) F (Foxtrot) G (Golf) H (hotel) J (Julie) K (Kilo). Nella tabella 6 sono riportati i dati relativi alle taxiways.

TAXIWAY	DATI	MISURE	AEROMOBILI CONSENTITI (CODICE ICAO)
T	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m	
	LARGHEZZA SHOULDERS	tra TWY "A" e "B" 11,50m tra TWY "B" e "E" 7,50m tra TWY "E" e "F" 3,50m tra TWY "F" e "K" 7,50m	fino a codice "F" ICAO fino a codice "F" ICAO fino a codice "E" ICAO fino a codice "F" ICAO
	LARGHEZZA STRIP	tra TWY "TS" e RHP "K1" 35m - 42,5m tra TWY "tv" e RHP "A" 35m	
	PORTANZA	70/F/A/X/T (stimato con metodo FAA 150/5335-5)	
A	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "E" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	10,50 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,5 m	
	PORTANZA	PCN 50/F/B/X/T (stimato con prove di carico su piastra)	
B	LARGHEZZA TAXIWAY	26,50 m (11,50 + 15,00)	fino a codice "E" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	10,50 e 12,00 m	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 70/F/B/X/T (stimato con prove di carico su piastra)	

C	LARGHEZZA TAXIWAY	24,80 m (11,50+13,30)	fino a codice "C" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	1,70 m e 3,50 m	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 50/F/A/X/T	
D	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "C" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	3,50 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 46/F/A/X/T	
E	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "C" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	3,50 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 42/F/A/X/T	
F	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "C" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	3,50 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 52/F/B/X/T	
G	LARGHEZZA TAXIWAY	23,60 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "D" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	7,5 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 85/F/B/X/T (stimato con prove di carico su piastra)	
H	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "C" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	7,5 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 85/F/B/X/T (stimato con prove di carico su piastra)	
J	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "F" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	3,50 m per lato	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 57/F/B/X/T	
K	LARGHEZZA TAXIWAY	23,00 m (simmetria rispetto all'asse)	fino a codice "F" ICAO
	LARGHEZZA SHOULDERS	7,50 m	
	LARGHEZZA STRIP	42,50 m	
	PORTANZA	PCN 60/F/A/X/T	

Tab 6. Caratteristiche tecniche taxiway principale e taxiways secondarie, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Il collegamento tra gli apron e la taxiway principale avviene per mezzo di 10 taxiways denominate: TV (Tango Victor) TW (Tango Whiskey) TL (Tango Lima) TM (Tango Mike) TN (Tango Novembre) TP (Tango Papa) U (Uniform) TQ (Tango Quebec) TR(Tango Romeo) TS (Tango Sierra) le cui principali caratteristiche sono riassunte nella tabella 7.

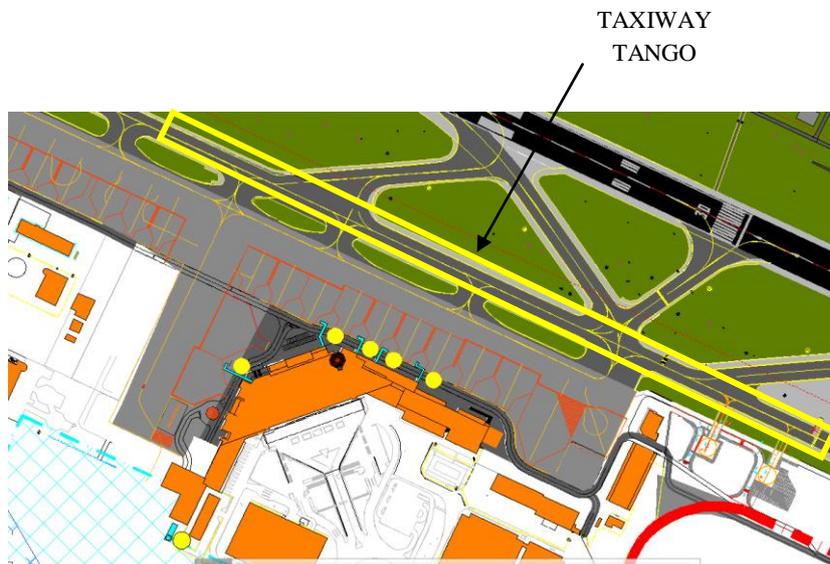


Fig 13. Planimetria Aeroporto Guglielmo Maroni, dettaglio Taxiway principale (Bologna 2015).

TAXIWAY	LARGHEZZA TAXIWAY	AEROMOBILI CONSENTITI (CODICE ICAO)
TV	19.00 m	fino a codice "B" (utilizzabile per codici "C" solo previa applicazione delle modalità operative previste dal RdS)
TW	44.00 m	fino a codice "F"
TL	45.00 m	fino a codice "E"
TM	38.00 m	fino a codice "D"
TN	41.00 m	fino a codice "D"
TP	38.00 m	fino a codice "D"
TU	51.00 m	fino a codice "E"
TQ	38.00 m	fino a codice "D"
TR	38.00 m	fino a codice "D"
TS	75.00 m	fino a codice "F"

Tab 7. Caratteristiche tecniche taxiways di collegamento, Aeroporto Guglielmo Marconi.

AREE DI STAZIONAMENTO (APRON)

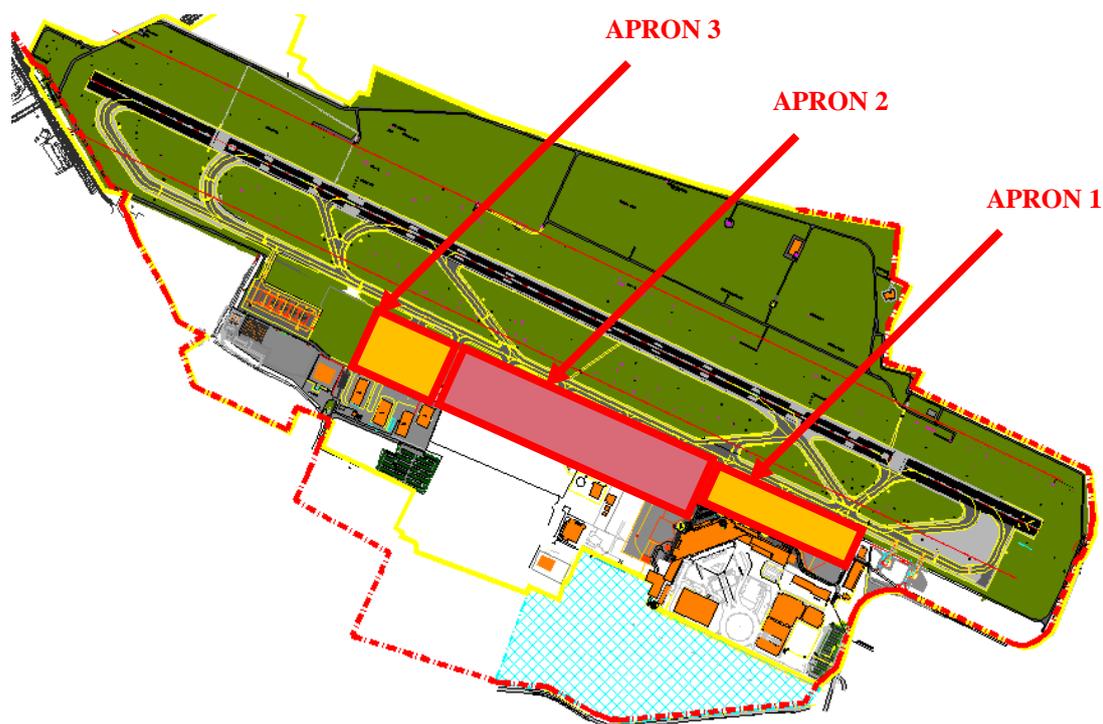


Fig 14. Planimetria Aeroporto Guglielmo Maroni (Bologna 2015).

Le aree di stazionamento sono costituite da una unica superficie pavimentata collegata alla taxiway T per mezzo delle 10 taxiways prima descritte: TV; TW; TL; TM; TN; TP; TU; TQ; TR; TS.

L'area per lo stazionamento è suddivisa in 3 apron: apron 1 e apron 2 sono divisi dalla aircraft stand taxilane U per l'accesso alle piazzole che collega la taxiway T agli stand 102 e 103 dell'apron 1.

Vi sono 34 stand disponibili:

- da 102 a 116 appartengono all'apron 1
- dal 205 al 220 appartengono all'apron 2
- dal 301 al 307 appartengono all'apron 3

Sono inoltre disponibili ad uso dell'aviazione generale l'apron 4 e l'apron 5, quest'ultimo dedicato alla sosta degli elicotteri.

4 LANDING AND TAKEOFF (LTO) CYCLE

Le procedure che caratterizzano il ciclo LTO, come evidenziato da una recente analisi realizzata dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) presso l'aeroporto di Bologna, sono le principali sorgenti di gas serra dell'intera infrastruttura aeroportuale, svolgendosi nell' Airside non subiscono l'influenza del contesto cittadino in cui l'aeroporto risulta inserito. Potendo essere interamente gestite dall'operatore aeroportuale, le energie e gli investimenti atti a ridurre l'impatto ambientale dell'aeroporto devono essere indirizzati alla mitigazione di tali sorgenti.

Le procedure di take-off, climb-out e approach sono fasi del volo regolamentate a livello internazionale e pertanto seguono procedure vincolate. Le due fasi di taxi-in e taxi-out sono invece gestite dall'operatore aeroportuale e il principale vincolo è dato dalla configurazione geometrica delle piste di volo e vie di rullaggio le quali condizionano la distanza che l'aeromobile deve percorrere durante la procedura di rullaggio. Al termine di queste considerazioni, la fase che risulta poter essere maggiormente condizionata dalle scelte procedurali dell'operatore aeroportuale è quella di taxi-out. La seguente trattazione si concentrerà quindi sull'analisi della procedura di taxi-out, sulle sorgenti emissive presenti sui consumi che queste generano e sulle possibili alternative e loro efficacia atte a mitigarne l'impatto ambientale.

La procedura di rullaggio viene eseguita utilizzando i motori principali dell'aeromobile, questa soluzione non risulta ottimale in quando i motori jet non sono efficienti ai bassi regimi e le eventuali attese per il decollo portano ad un consumo di carburante, inoltre sono fonti di inquinamento sonoro. L'Airbus (Re,F.) ha stimato che i voli europei trascorrono sino al 30% del loro tempo e consumano dal 5% al 10% del carburante per la tratta per le procedure di rullaggio.

Per quanto riguarda i principali inquinanti prodotti, il traffico aereo di terra contribuisce in particolare alla produzione di CO a causa dell'incompleta combustione nei motori legata alla loro inefficienza ai bassi regimi. In accordo con i trend di crescita del trasporto aereo anche l'uso degli aeroporti è destinato ad intensificarsi e con un incremento dei tempo di taxi-out. Data la crescente

preoccupazione verso il cambiamento climatico, l'efficienza energetica e i risvolti sulla salute umana, l'utilizzo di tecnologie AGPS (Aircraft Ground Propulsion System) eco-friendly è diventata una prospettiva attraente negli ultimi anni. Prima di valutare differenti AGPS, procediamo con l'analizzare in dettaglio come viene eseguita la procedura LTO.

SORGENTE	EMISSIONI CO2 (kg)
Traffico veicolare indotto	37.858.060
Energia elettrica	5.620.555
Energia prodotta in aeroporto da metano	1.152.126
Energia prodotta in aeroporto da diesel	611.256
Ciclo LTO aeromobili	54.991.113
Equipaggiamento handling di terra	1.195.825
Totale	101.428.935

Tab 8. Emissioni di origine aeroportuale dati disponibili anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

EMISSIONI CO2

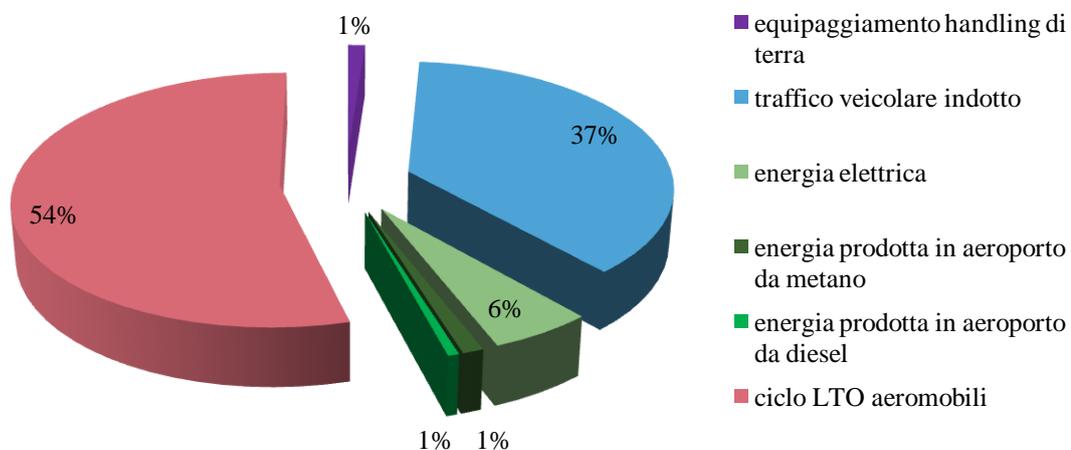


Fig 15. Ripartizione percentuale dei principali contribuenti alle emissioni aeroportuali.

4.1. LA PROCEDURA LTO:

Il ciclo LTO si compone di 5 fasi:

- *Taxi out;*
- *Take-off;*
- *Climb-out;*
- *Approach;*
- *Taxi-in;*

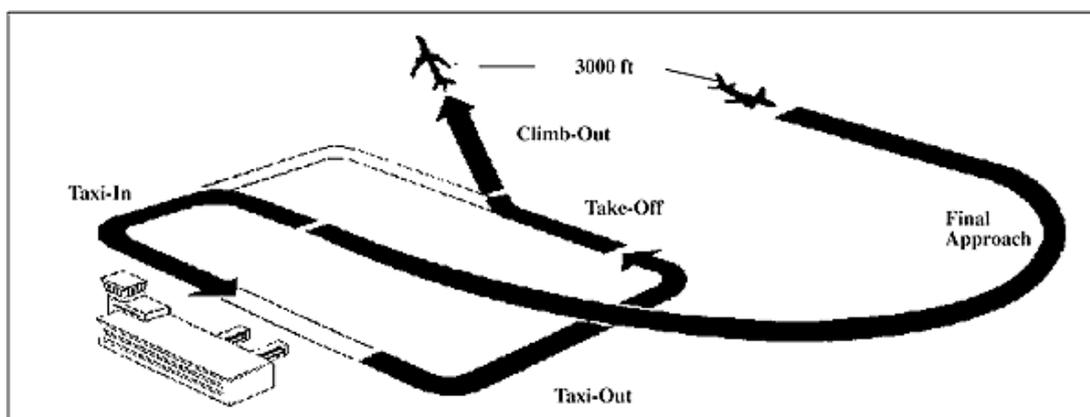


Figura 16. Ciclo LTO.

TAXI-OUT

Il taxi-out di un aeromobile inizia con la disconnessione di tutti gli equipaggiamenti di terra seguito dal push-back (spinta all'indietro) che porta l'aeromobile dal gate di stazionamento alla taxiway assegnata. Per un aeromobile jet il push-back viene normalmente compiuto da un rimorchiatore, collegato al carrello anteriore che spinge l'aeromobile all'indietro. Per motivi di sicurezza legati all'uso dei motori nei pressi dei gates, la procedura non viene eseguita direttamente dall'aeromobile muovendo in senso contrario le turbine del motore a reazione. Il distacco dell'alimentazione GPU (Ground Power Unite) di terra è seguito dall'accensione dell'APU (Auxiliary Power Unit). L'APU è un unità di potenza ausiliaria installata a bordo dell'aeromobile per la produzione di energia non direttamente utilizzata a scopo propulsivo. I motori principali sono solitamente accesi al termine del push-back e

sfruttano l'APU come motore d'avviamento. Quando i motori principali hanno raggiunto la velocità minima, l'APU viene spento per ridurre i consumi. Alcune compagnie aeree, in funzione del regolamento aeroportuale, mantengono l'APU in funzione sino al termine della fase di decollo.

Al termine della procedura di push-back, il rimorchiatore si sgancia dal carrello e l'aeromobile può procedere con l'utilizzo dei motori principali per svolgere il rullaggio che lo porterà alla testa della pista di volo. I motori principali durante il rullaggio funzionano a bassi regimi con una spinta pari a circa il 7% del totale che garantisce velocità non superiori a 30 kts (55km/h).

L'intervallo di tempo necessario ad effettuare tale procedura dipende dalla distanza che l'aeromobile deve percorrere e quindi dalla configurazione aeroportuale.

La procedura di taxi-out si compone delle seguenti fasi:

1. Push-back: l'aeromobile viene spinto da un rimorchiatore al di fuori dello stand in posizione per l'inizio del rullaggio.
2. Distacco del rimorchiatore (accensione del motore).
3. L'aeromobile imbocca la taxiway indicatagli dalla torre di controllo e la percorre sino a raggiungere la testata della pista.
4. L'aeromobile si posiziona in linea con l'asse della pista e si prepara alla manovra di decollo.

TAKE-OFF:

L'aeromobile percorre la pista di volo con velocità crescente sino allo sviluppo della portanza che porta al distacco del carrello anteriore seguito da quello posteriore. La fase è terminata quando l'aeromobile ha perso ogni contatto con la pista di volo e può iniziare la procedura di salita.

CLIMB-OUT

Una volta avvenuto il distacco del carrello posteriore l'aeromobile può iniziare la procedura di salita che lo porterà a raggiungere la quota di 3000ft/1000m che segna il confine del ciclo LTO. Dopo tale quota inizierà la fase di crociera (cruise).

APPROACH

L'aeromobile in fase di atterraggio si porta dalla quota di 3000ft che segna il confine del ciclo LTO e discende sino al contatto con la pista di volo (touch-down), la fase è terminata quando l'aeromobile ha entrambi i carrelli a contatto con il suolo della pista di volo.

TAXI-IN

L'aeromobile percorre la pista di volo sino all'imbocco di un raccordo che lo connette alla taxiway T attraverso cui raggiungerà lo stand di stazionamento. Come per la fase di taxi-out l'intervallo di tempo necessario ad effettuare tale procedura dipende dalla configurazione dell'infrastruttura aeroportuale e dalla tipologia di velivolo, il quale a seconda delle sue caratteristiche, necessita di un tratto di pista per decelerare e raggiungere una velocità tale da permettere l'imbocco del raccordo.

La procedura di taxi-in si compone delle seguenti fasi:

1. touch-down;
2. imbocco e percorrenza del raccordo;
3. attesa del mezzo follow-me che conduce l'aeromobile lungo un percorso predefinito e sicuro;
4. posizionamento all'interno della piazzola di sosta.

Le varie fasi che compongono il taxi-out e il taxi-in avvengono con il supporto dei Ground Support Equipment che comprendono i mezzi di assistenza a terra necessari per le procedure di imbarco, sbarco e manutenzione, da eseguire al termine della fase di atterraggio quando l'aeromobile ha raggiunto lo stand di stazionamento assegnato. In funzione delle caratteristiche dell'aeromobile il numero e la tipologia di mezzi può modificarsi; di seguito si riporta una breve descrizione dei mezzi a disposizione:

- Carrelli portabagagli: vengono utilizzati per il trasporto di bagagli, posta, merci e altri materiali tra l'aeromobile e il terminal;
- Autobotti: utilizzate per il rifornimento di carburante, sono muniti di tutte le attrezzature necessarie ad effettuare tale procedura, pompe, tubi ecc..

- Scalette: mezzi dotati di un supporto su cui è montata una scala che permette la salita e la discesa dei passeggeri e del personale di bordo dall'aeromobile sino a terra;
- GPU (ground power unit): generatore mobile o fisso in grado di fornire alimentazione agli aeromobili, viene utilizzato per garantire il funzionamento della strumentazione di bordo e delle utenze di servizio quando il motore dell'aeromobile è spento o in fase di accensione;
- Rimorchiatori: vengono utilizzati per svolgere la procedura di push-back;
- Mezzi follow-me: veicoli impiegati nella fase di taxi-in per dirigere l'aeromobile lungo le taxiways;
- Mezzi per il rifornimento di acqua e alimenti;
- Bus: nell'eventualità in cui non vi sia una connessione diretta tra l'aeromobile e il gate di sbarco è necessario trasportare via terra i passeggeri .

Alle diverse fasi del ciclo LTO corrispondono emissioni di gas serra differenti. Ad ogni fase è associata una spinta dei motori che porta a emissioni in prevalenza costituite da ossidi di azoto e micro particolato in fase di decollo e monossido di carbonio e idrocarburi nella fase di taxi-out e taxi-in.

4.2. AICRAFT GROUND PROPULSION SYSTEM

Le funzioni che un sistema AGPS(Aircraft Ground Propulsion Systems) deve garantire sono:

1. Eseguire il push-back dallo stand di stazionamento;
2. Garantire una sufficiente accelerazione per la ripartenza da una condizione in stazionamento;
3. Guidare l'aeromobile lungo le vie di rullaggio.

Dal punto di vista operativo è importante che il pilota mantenga il controllo dell'aeromobile quando questo è in movimento. La procedura di rullaggio infatti avviene sotto l'ordine e il controllo dell'ATM (Air Traffic Management) il quale si trova in contatto diretto con il pilota, unico responsabile dei movimenti

dell'aeromobile. Un sistema in grado di eseguire la procedura di rullaggio in totale autonomia senza la possibilità di intervento da parte del pilota andrebbe a compromettere la sicurezza dell'intera infrastruttura aeroportuale.

4.2.1. RULLAGGIO A MOTORE SINGOLO

Il rullaggio a motore singolo è l'operazione strategicamente più perseguita dalle compagnie aeree. Eseguire il rullaggio a motore singolo significa utilizzare solo parte dei motori principali di cui l'aeromobile è dotato, ad esempio utilizzando un unico motore se è presente una coppia di motori o due motori se ne sono presenti quattro. Alcuni recenti studi hanno evidenziato (Zhang, Y., et al, 2014) benefici in termini di consumi ed emissioni utilizzando questa strategia operativa. Inoltre l'utilizzo di un numero minore di motori permetterebbe di allungare la vita utile degli aeromobili. Nonostante siano evidenti i benefici in termini di impatto ambientale, alcuni problemi legati a questa procedura sono emersi da uno studio eseguito da Airbus secondo il quale è necessario risolvere alcune criticità (Airbus Technical Magazine, 2012):

- La procedura non è raccomandata con carichi molto elevati in quanto richiede una potenza propulsiva maggiore;
- La procedura non è consigliata in caso di taxiways in pendenza o con fondo scivoloso, condizione che si verifica quando vi sono precipitazioni o temperature intorno allo zero;
- L'accensione dei motori deve avvenire in spazi in cui è garantita la sicurezza in caso di incendio;
- L'accensione dei motori deve avvenire in punti in cui sia possibile invertire la marcia in caso di malfunzionamento ;
- Inoltre il pilota deve considerare autonomamente quali motori utilizzare e questa procedura potrebbe portare ad un deterioramento precoce dei motori maggiormente utilizzati portando ad uno sbilanciamento delle fasi di manutenzione.

4.2.2. ON-BOARD SYSTEM



Figura 17. Wheel tug test.

Una strategia differente è sfruttare una motorizzazione parallela a quella principale che fornisca la trazione necessaria a compiere il rullaggio.

Il sistema AGPS integrato a bordo dell'aeromobile permette di eliminare l'uso dei motori principali durante il rullaggio agendo come un sistema esterno, garantendo minori consumi, emissioni e rumore. Il sistema è basato sull'utilizzo di un motore elettrico installato tra le ruote del carrello anteriore o direttamente nei motori principali.

La principale differenza tra i vari sistemi on-board risiede nel numero, nella tipologia di alimentazione e nel metodo con cui vengono integrati con la strumentazione già presente, aspetto che ha un particolare impatto sul peso dell'aeromobile. Il suo posizionamento in prossimità del carrello anteriore potrebbe portare ad un aumento della pressione agente sulle ruote con conseguente aumento del peso aderente e quindi dell'attrito generato lungo le superfici di contatto; una disposizione lontana dal carrello necessiterebbe di una connessione diretta con le ruote con conseguente aumento della complessità del sistema.

Appartenenti a questa classe sono il sistema Wheel Tug sviluppato dall'omonima industria canadese e l'EGTS, Electric Green Taxiing System.



Figura 18. Dettaglio Wheel Tug montato nel carrello anteriore dell'aeromobile.

Nonostante questa soluzione garantisca un considerevole risparmio in termini energetici, la sua integrazione con l'odierna flotta aeromobile presente sul mercato è da considerarsi molto dispendiosa, a causa della modifica di una consistente parte della meccanica interna e pertanto difficilmente sviluppabile nel breve termine.



Figura 19. Dettaglio EGTS montato nel carrello anteriore dell'aeromobile.

4.2.3. EXTERNAL POWER UNIT

Il sistema di alimentazione esterna di maggior sviluppo, su cui si stanno investendo le ricerche di alcune tra le maggiori compagnie del settore (<http://www.greenaironline.com>), è basato sull'utilizzo di un rimorchiatore collegato all'aeromobile in grado di trainarlo lungo le taxiways sino alla pista di volo.

Questa procedura è nota come dispatch towing. La tipologia di veicolo impiegata richiama i convenzionali trattori usati per il push-back. L'efficienza di tale sistema è legata anche alla natura dell'alimentazione del veicolo di traino, a combustione interna o elettrica.

Benché rappresenti la soluzione eco-friendly per eccellenza, una motorizzazione basata su di un motore elettrico richiederebbe un impegno economico importante, rendendo il sistema non sostenibile.

Attualmente la procedura di dispatch towing non ha trovato largo sviluppo a causa dell'elevata potenza richiesta per garantire le elevate velocità di rullaggio, inoltre la condizione di traino alle velocità caratteristiche di rullaggio indurrebbe sul carrello anteriore una sollecitazione eccessiva. In ultima analisi il pilota non avrebbe più il controllo diretto dell'aeromobile che è una prerogativa di ogni sistema di guida autonomo.

Possiamo quindi riassumere che i vantaggi nell'utilizzo di veicoli per il traino dell'aeromobile siano prevalentemente legati alla possibilità di essere utilizzati senza apportare sostanziali modifiche all'aeromobile.

Dobbiamo comunque ricordare come qualsiasi dispositivo che permetta di eseguire il rullaggio o parte di esso senza che i motori principali vengano messi in funzione, deve garantire un tempo di warm-up precedente al decollo di durata 2-3 minuti. Questo tempo, come vedremo, è un'importante limitazione all'utilizzo di queste tecnologie per piccoli scali aeroportuali.



Figura 20. Dispatch towing.

Le criticità legate a sistemi di traino sviluppati sino ad ora che ne hanno vincolato e limitato la diffusione, sono principalmente legate a:

- potenza installata insufficiente che non permette di sostenere le velocità caratteristiche di rullaggio;
- eccessivo carico sollecitante la meccanica presente nella parte anteriore dell'aeromobile nota come NLG (Nose Landing Gear) nelle fasi di accelerazione e frenata;
- sicurezza delle procedure di taxi-out: il pilota è responsabile dei movimenti dell'aeromobile durante la procedura di rullaggio pertanto gli deve essere garantito il controllo diretto.

5. TAXIBOT

A livello mondiale sono diffuse prevalentemente due tecnologie di rimorchiatori, towbar tractor e towbar less tractor:

- I primi, rimorchiatori con barra di traino, hanno la caratteristica di agganciarsi al carrello anteriore dell'aeromobile per mezzo di una barra di traino che meccanicamente garantisce una connessione diretta tra aeromobile e rimorchiatore, questa tecnologia permette di trainare i velivoli con velocità modeste e viene utilizzata in prevalenza per muovere i velivoli dagli hangar al piazzale di stazionamento.
- I rimorchiatori towbar less sono invece privi di barra di traino e il collegamento tra aeromobile e rimorchiatore avviene utilizzando una piattaforma che accoglie la ruota del carrello anteriore e la rende solidale al rimorchiatore.

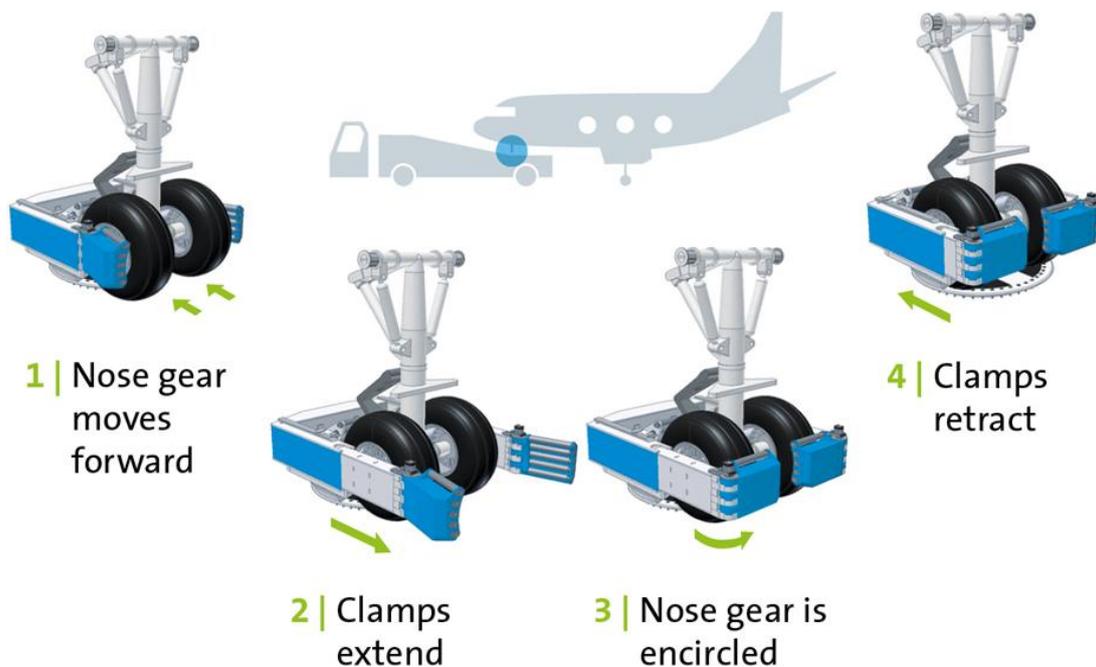


Figura 22. Schema di fissaggio del carrello anteriore dell'aeromobile alla piattaforma rotante(www.bdl.aero).

5.1. TAXIBOT DESCRIZIONE DEL MEZZO



Figura 21. Taxibot.

All'interno dei sistemi di alimentazione esterna, si inserisce il progetto Taxibot (Taxiing Robot) sviluppato dalla Israel Aerospace Industries in collaborazione con Lufthansa LEOS, TLD e Airbus. Taxibot è un rimorchiatore towbar less (senza barra di traino) semi-automatico che risponde ai criteri di dispatch towing in termini di potenza, sollecitazioni e controllo.

Il Taxibot sfrutta una tecnologia di guida che garantisce al pilota il diretto controllo dell'aeromobile utilizzando i normali comandi presenti nella cabina di pilotaggio : la piattaforma ruotante che accoglie la ruota del carrello anteriore e la rende solidale al rimorchiatore trasmette il movimento sterzante indotto dal pilota sul carrello in un cambiamento direzionale per il rimorchiatore, in questo modo il pilota ha il controllo della direzione assunta dall'aeromobile, anche l'avanzamento del mezzo viene controllato dal pilota per mezzo dei pedali di plancia.

Nel'ottobre 2014 il Boeing 737 ha ricevuto la certificazione ufficiale per la procedura di dispatch towing per mezzo del Taxibot. La certificazione è stata rilasciata dalla EASA (European Aviation Safety Agency) e dall'Autorità Israeliana per l'Aviazione Civile (CAAI).



Figura 23. Dettaglio piattaforma rotante e meccanismo di bloccaggio del carrello anteriore (Taxibot).

5.2. CARATTERISTICHE TECNICHE

A causa delle diverse tipologie di aeromobili attualmente presenti nella flotta operante a livello mondiale, sono stati sviluppati due differenti rimorchiatori:



Figura 24. Boeing 737-700 (primo piano) e 747-400 (sfondo) Israel Airlines a confronto (Yochai Mossi).

- TAXIBOT NB (Narrow-Body) : dedicato all'utilizzo con aeromobili dotati di un singolo corridoio quali ad esempio:
 - dall' Airbus A318 a A321
 - dal Boeing B737 a B757
 - dal McDonnell Douglas MD80 a MD90

Power system Diesel engine:

- *2x294 kW (2x394HP) SCANIA DC9 engines V5*

Drive line:

- *Electric Drive system, rated power 264 kW – 650V DC (peak: 520kW)*
- *Generators: 2 x Siemens 180 kW rated power (peak: 260 kW- water cooled)*
- *Inverters: 6 x Siemens ELFA2 – water cooled*
- *Motors: 8 x Siemens 33 kW rated power (peak: 68 kW) –water cooled*

Consumo medio durante operazioni aeroportuali: 6 galloni /hour



Figura 25. Narrow-body taxibot, Aeroporto di Francoforte.

- TAXIBOT WB(Wide-Body) : dedicato all'utilizzo con aeromobili dotati di un doppio corridoio quali ad esempio:
 - dall' Airbus A330 a A380
 - dal Boeing B767 a B747

- McDonnell Douglas MD11

Power system Diesel engine:

- *2x566kW (2x760HP) SCANIA DC16 engines V8*

Drive line:

- *Electric Drive system, rated power 264 kW – 650V DC (peak: 520kW)*
- *Generators: 2 x Siemens PEM technology (peak: 2x430 kW- water cooled)*
- *Inverters: 16 x Siemens ELFA2 – water cooled*
- *Motors: 12 x Siemens Permanent Magnet Electrical Motors*

Consumo medio durante operazioni aeroportuali: 22 galloni /hour



Figura 26. Wide-body taxibot, Aeroporto di Francoforte.

5.3. BENEFICI

Il sistema di controllo di cui è dotato il Taxibot, attraverso un controllo diretto del pilota sul mezzo, non incide sulle attuali procedure di rullaggio in quanto il push-back viene gestito dal pilota del rimorchiatore e nessuna tecnologia o modifica deve essere implementata negli aeromobili. Risulta invece necessario da parte dell'operatore aeroportuale garantire la sicurezza di tali operazioni adattando l'infrastruttura aeroportuale.

Alcuni dei benefici che l'implemento di tale tecnologia può apportare vengono di seguito descritti:

- la procedura di taxiing avviene con i motori principali di cui è dotato l'aeromobile spenti, l'accensione si rende necessaria solamente 2-3 minuti prima del decollo per garantire il preriscaldamento dei motori(warm-up). In conseguenza al minor utilizzo dei motori principali vi è una consistente riduzione delle emissioni di gas serra all'interno dell'infrastruttura aeroportuale essendo queste in percentuale maggiore, dovute alla procedura di Taxi-Out.

L'aeromobile è dotato di un'unità di potenza ausiliaria, l'APU (Auxiliary Power Unit) per la produzione di energia non direttamente utilizzata a scopo propulsivo, che consente di fornire energia agli impianti di bordo quando i motori principali sono spenti. L'utilizzo del Taxibot non interferisce con l'APU il quale deve rimanere in funzione sino all'accensione dei motori principali. Le emissioni che l'utilizzo del Taxibot andrebbe a eliminare sono quelle generate dai motori principali, le emissioni dovute al funzionamento dell'APU, invece non subiscono variazioni.

- Un ulteriore beneficio derivante dall'uso di una tecnologia che limita l'intervallo di tempo in cui i motori principali dell'aeromobile sono in funzione nell'airside, è legato all'inquinamento sonoro. Una sperimentazione realizzata da Lufthansa presso l'aeroporto di Francoforte dove sono stati impiegati un Boeing 737 e il Taxibot, ha fatto registrare durante la procedura di rullaggio, livelli di rumore al di sotto degli 80dB, meno della metà dei convenzionali livelli di rumore che si registrano quando i motori principali del Boeing 737 sono in funzione (Fast 51). L'imitare il tempo di funzionamento dei motori a reazione di cui è dotato l'aeromobile ha un impatto anche sulle problematiche legate al FOD (Foreign Object Damage).

PARTE 2

6. L'INTRODUZIONE DEL TAXIBOT NELL'AEROPORTO DI BOLOGNA

Dopo aver descritto le caratteristiche dell'infrastruttura aeroportuale di riferimento, l'aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna e le caratteristiche delle manovre a terra dell'aeromobile viene ora lo scopo principale del presente elaborato di tesi. L'obiettivo che ci si è posti è quello di realizzare una valutazione sull'introduzione del mezzo Taxibot all'interno dell'infrastruttura aeroportuale bolognese. Una prima necessaria analisi verterà sui vantaggi in termini di emissioni inquinanti che questa nuova tecnologia potrebbe portare in sostituzione delle attuali procedure di dispatch towing. I paragrafi che seguiranno contengono un'analisi delle metodologie di calcolo, per le emissioni inquinanti, utilizzate dalla società di gestione aeroportuale di Bologna SAB, vengono poi confrontate le attuali procedure di dispatch towing con lo scenario futuro proposto che vede l'introduzione del Taxibot.

6.1. CONTRIBUTO EMISSIVO DEGLI AEROMOBILI

L'aeroporto Guglielmo Marconi si inserisce come partner all'interno del progetto D-Air (Decarbonized Airport) promosso da numerose realtà aeroportuali Europee. Il progetto D-Air ha come obiettivo la condivisione delle informazioni tra i partner del progetto riguardanti le misure implementate per ridurre le emissioni di CO₂ prodotte dalle attività aeroportuali e l'accesso all'infrastruttura da parte dei passeggeri. Il progetto pone particolare attenzione allo sviluppo parallelo delle attività di business e della comunità che ospita l'infrastruttura, sottolineando l'importanza di un'integrazione sostenibile che garantisca la convivenza di entrambe queste realtà.

Al fine di ridurre l'impatto ambientale generato dalle attività aeroportuali e annesse, è necessario creare una baseline di riferimento attraverso la quale monitorare i diversi contribuenti. Un studio realizzato nell'anno 2014 dalla società di gestione aeroportuale, SAB, ha fatto uso del modello combinato di emissione e dispersione EDMS (Emission and Dispersion Modelling System) per valutare le emissioni di origine aeroportuale. Il modello EDMS è basato su un software di simulazione sviluppato dalla Federal Aviation Administration (FAA) in collaborazione con la

United States Air Force (USAF), che permette di determinare la qualità dell'aria degli aeroporti: partendo da determinati dati di input restituisce le emissioni degli inquinanti prodotti dall'aviazione civile e dalle attività con essa correlate.

Volendo valutare l'impatto generato dalla variazione delle attuali procedure di dispatch towing, si focalizzerà l'analisi sul contributo emissivo dovuto al ciclo LTO.

Gli elementi di base del modello EDMS, sia per l'elaborazione dell'inventario delle emissioni sia per la modellazione delle dispersioni sono:

1. Il database del sistema costituito dagli Emission Factor ;
2. La motorizzazione degli aeromobili ed i tempi caratteristici per ogni fase del ciclo LTO . Il modello di emissione basato sugli Emission Factor, si fonda su relazioni matematiche esistenti tra le emissioni inquinanti dei veicoli a motore e le variabili indipendenti che influenzano il fenomeno:
 - le caratteristiche dell'apparato di propulsione;
 - le modalità di funzionamento dell'apparato di propulsione;
 - i tempi di funzionamento in ogni modalità operativa.

L'assetto del motore principale dell'aeromobile determina il regime con cui il carburante viene bruciato, il quale a sua volta determina la natura e la quantità di emissioni prodotte. Il modello suddivide pertanto ogni fase del ciclo LTO in segmenti e calcola separatamente il contributo emissivo di ognuno di essi.

6.1.1. EMISSIONI DI CO₂ ALLO STATO ATTUALE

INPUT

La società di gestione aeroportuale SAB ha fornito le informazioni riguardanti le emissioni prodotte da ognuna delle fasi del ciclo LTO dando indicazione di quelli che sono stati i dati implementati nel modello EDMS. Attraverso questi dati è stato possibile realizzare un nuovo scenario emissivo, per la sola procedura di taxi-out, al centro dell'analisi sull'introduzione del towing tractor Taxibot. Di seguito vengono brevemente riportati gli step con i quali la società aeroportuale ha determinare le emissioni prodotte dalla procedura di taxi-out.

Flotta operante

Utilizzando come riferimento il BDV (Base Dati Volo) dell'anno 2013 sono note le tipologie di aeromobile operanti e il numero di movimenti. Si riporta di seguito un estratto della BDV relativa al traffico aereo dell'anno 2013:

Estratto BDV relativo al traffico aereo anno 2013

AI Name	Bt	Giorno sett	Bound2	Ac Mtow	Ac Type Name	At	Registration	Stand
KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	01/01/13 06:30:00	3	D	45000	Embraer 190	01/01/13 06:43:00	PHEZB	111
AIR FRANCE	01/01/13 07:00:00	3	D	43990	Embraer 190	01/01/13 07:20:00	FHBLG	103
BRITISH AIRWAYS	01/01/13 07:05:00	3	D	73500	Airbus A320	01/01/13 07:16:00	GEUJH	102
ALITALIA	01/01/13 07:10:00	3	D	73500	Airbus A320	01/01/13 07:28:00	EIDSW	110
AIR NOSTRUM	01/01/13 07:30:00	3	D	37995	Canadair Regional Jet 900	01/01/13 07:46:00	ECJTS	108
ALITALIA	01/01/13 08:19:00	3	A	64000	Airbus A319	01/01/13 08:17:20	EIMMR	110
AIR FRANCE	01/01/13 09:05:00	3	A	33990	Embraer 170	01/01/13 09:01:12	FHBXO	108
ALITALIA	01/01/13 09:12:00	3	D	64000	Airbus A319	01/01/13 09:18:00	EIMMR	110
RYANAIR	01/01/13 10:05:00	3	D	66990	Boeing 737-800	01/01/13 10:17:00	EIDAS	212
TURKISH AIRLINES	01/01/13 10:12:00	3	A	77000	Airbus A320	01/01/13 10:06:02	TCJBI	216
AIR FRANCE	01/01/13 10:25:00	3	D	33990	Embraer 170	01/01/13 10:36:00	FHBXO	108
RYANAIR	01/01/13 10:30:00	3	D	66990	Boeing 737-800	01/01/13 10:45:00	EIEVT	112
ALITALIA	01/01/13 10:40:00	3	A	37500	Embraer 175	01/01/13 10:34:20	EIRDI	111
Brussels Airlines	01/01/13 11:10:00	3	A	42900	Avro RJ100	01/01/13 11:04:51	OODWB	105

- **AI Name** (airline name): nome della compagnia aerea;
- **Bt** (block time): data e ora del Block Time (momento in cui l'aereo inizia la sua fase di taxi-out o termina la sua fase di taxi-in);
- **Giorno_sett**: giorno della settimana in cui è avvenuto il volo (ad es.: "1" se lunedì, "2" se martedì ecc.);
- **Bound2**: operazione svolta, "D" se di decollo (Departure) "A" se di atterraggio (Arrival);
- **Ac Mtow** (aircraft maximum takeoff weight): peso massimo al decollo, in tonnellate;
- **Ac Tipe Name** (aircraft tipe name): nome del modello di aeromobile;
- **At** (actual time): data e ora dell'Actual Time (istante di staccata dalla pista di decollo, in caso di partenza, o di attaccata in caso di atterraggio);
- **Registration**: targa del velivolo;
- **Stand**: piazzale di arrivo/partenza dell'aeromobile.

Viene riportata la tabella in cui sono elencati i cicli LTO effettuati per ogni tipologia di aeromobile e la compagnia aerea associata riferiti all'anno 2013.

TIPOLOGIA DI AEROMOBILE	COMPAGNIA AEREA	NUMERO MOVIMENTI
Airbus A300 B4 Freighter	EUROPEAN AIR TRANSPORT	10
Airbus A300 B6 Freighter	EUROPEAN AIR TRANSPORT	459
Airbus A300 Freighter	SOLINAIR	8
Airbus A310	BLUE PANORAMA	4
Airbus A310-300	BLUE PANORAMA	6
Airbus A310-300 Freighter	ULS AIRLINES CARGO	2
Airbus A318	AIR FRANCE	38
Airbus A319	AEROFLOT	166
Airbus A319	AIR FRANCE	50
Airbus A319	AIR ITALY	2
Airbus A319	AIR PORTUGAL (TAP)	696
Airbus A319	AIRONE CITYLINER	2
Airbus A319	ALITALIA	859
Airbus A319	BELLE AIR	428
Airbus A319	BRITISH AIRWAYS	1295
Airbus A319	BRUSSELS AIRLINES	8
Airbus A319	EASYJET AIRLINES	1301
Airbus A319	GERMAN WINGS	712
Airbus A319	JAT JUGOSLOVENSKI AEROTRANSPORT	2
Airbus A319	LUFTHANSA	406
Airbus A319	MERIDIANA	6
Airbus A319	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	84
Airbus A319	SYPHAX AIRLINES	2
Airbus A319	TUNIS AIR	46
Airbus A319	TURKISH AIRLINES	85
Airbus A319	VUELING	6
Airbus A320	AEGEAN	38
Airbus A320	AER LINGUS	180
Airbus A320	AEROFLOT	518
Airbus A320	AIR ARABIA MAROC	404
Airbus A320	AIR BERLIN	2
Airbus A320	AIR CAIRO	34
Airbus A320	AIR FRANCE	8
Airbus A320	AIR ITALY	267
Airbus A320	AIR MOLDOVA	52
Airbus A320	AIR ONE	18
Airbus A320	AIR PORTUGAL (TAP)	238
Airbus A320	ALBASTAR	1
Airbus A320	ALITALIA	1559
Airbus A320	AUSTRIAN AIRLINES	2
Airbus A320	BELLE AIR	120

Airbus A320	BRITISH AIRWAYS	715
Airbus A320	EASYJET AIRLINES	57
Airbus A320	FREEBIRD AIRLINES	2
Airbus A320	GERMAN WINGS	8
Airbus A320	IBERIA	2
Airbus A320	IBERIA EXPRESS	4
Airbus A320	LIVINGSTON	192
Airbus A320	LUFTHANSA	166
Airbus A320	MERIDIANA	1644
Airbus A320	NESMA AIRLINES	56
Airbus A320	NOUVELAIR TUNISIE	8
Airbus A320	ONUR AIR	6
Airbus A320	ORBEST AIRLINES	2
Airbus A320	PEGASUS AIRLINES	2
Airbus A320	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	50
Airbus A320	SYPHAX AIRLINES	23
Airbus A320	TRAVEL SERVICE	4
Airbus A320	TUNIS AIR	114
Airbus A320	TURKISH AIRLINES	1143
Airbus A320	VUELING	542
Airbus A320	WIZZ AIR	1110
Airbus A321	AER LINGUS	2
Airbus A321	AEROFLOT	46
Airbus A321	AIR FRANCE	2
Airbus A321	AIR PORTUGAL (TAP)	4
Airbus A321	ALITALIA	177
Airbus A321	ATLASJET	8
Airbus A321	BRITISH AIRWAYS	136
Airbus A321	IBERIA	50
Airbus A321	LUFTHANSA	88
Airbus A321	NOUVELAIR TUNISIE	34
Airbus A321	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	28
Airbus A321	TURKISH AIRLINES	206
Airbus A330	LIVINGSTON	4
Airbus A330	PULLMANTUR AIR	2
Airbus A330-200	MERIDIANA	4
Airbus A340-200	IBERIA	2
Antonov 12	UKRAINE AIRALLIANCE	6
Antonov 26 FREIGHTER	AIR BRIGHT	2
Antonov 72	CAVOK AIR	2
ATR 42-500	AIR FRANCE	30
ATR 42-500	HOP	16
ATR 72	AIR DOLOMITI	10
ATR 72	AIR FRANCE	4
ATR 72	ALITALIA	24
ATR 72	BELLE AIR	20

ATR 72	HELITT LINEAS AEREAS	68
ATR 72	INTERSKY LUFTFAHRT GMBH	4
ATR 72	LUFTHANSA	18
Avro RJ100	BRUSSELS AIRLINES	746
Avro RJ100	GERMAN WINGS	2
Avro RJ100	MALMO AVIATION	28
Avro RJ100	SWISS AIRLINES	38
Avro RJ85	AIR FRANCE	21
Avro RJ85	BRUSSELS AIRLINES	238
Avro RJ85	CITYJET	3
BAe.146	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	2
BAe.146	SWISS AIRLINES	6
BAe.146-200 Freighter	TNT	1219
BAe.146-300	GERMAN WINGS	2
BAe.146-300 Freighter	TNT	557
Boeing 717-200	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	2
Boeing 717-200	VOLOTEA	16
Boeing 737	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	6
Boeing 737 Freighter	TNT	2
Boeing 737-300	AIR EXPLORE SLOVAKIA	2
Boeing 737-300	AIR MOLDOVA	2
Boeing 737-300	ALITALIA	74
Boeing 737-300	BLUE AIR	164
Boeing 737-300	BLUE PANORAMA	22
Boeing 737-300	JET-TIME	4
Boeing 737-300	LIVINGSTON	4
Boeing 737-300	LUFTHANSA	1008
Boeing 737-300	MERIDIANA	40
Boeing 737-300	MISTRAL AIR	50
Boeing 737-300	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	4
Boeing 737-300	SMALL PLANET AIRLINES ITALIA	32
Boeing 737-300	SYPHAX AIRLINES	2
Boeing 737-300	TAROM	189
Boeing 737-300	TNT	4
Boeing 737-300 Freighter	TNT	18
Boeing 737-400	AIR EXPLORE SLOVAKIA	2
Boeing 737-400	ALBASTAR	99
Boeing 737-400	BLUE AIR	100
Boeing 737-400	BLUE PANORAMA	230
Boeing 737-400	BRITISH AIRWAYS	6
Boeing 737-400	EUROPEAN AIR TRANSPORT	4
Boeing 737-400	MERIDIANA	6
Boeing 737-400	MISTRAL AIR	48
Boeing 737-400	PEGASUS AIRLINES	2
Boeing 737-400	ROYAL AIR MAROC	4
Boeing 737-400	SAYEGH AVIATION EUROPE S.R.O.	30

Boeing 737-400	SMALL PLANET AIRLINES ITALIA	4
Boeing 737-400	THOMAS COOK AIRLINES SCANDINAVIA	1
Boeing 737-400	TNT	18
Boeing 737-500	BELLE AIR	2
Boeing 737-500	BLUE AIR	326
Boeing 737-500	LUFTHANSA	294
Boeing 737-500	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	4
Boeing 737-500	TAROM	1
Boeing 737-500	TUNIS AIR	18
Boeing 737-600	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	84
Boeing 737-600	TUNIS AIR	22
Boeing 737-700	AIR ITALY	2
Boeing 737-700	MERIDIANA	102
Boeing 737-700	ROYAL AIR MAROC	132
Boeing 737-700	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	6
Boeing 737-700	TRANSAVIA AIRLINES	268
Boeing 737-700	TRAVEL SERVICE	4
Boeing 737-800	AEGEAN	1
Boeing 737-800	AIR ARABIA MAROC	2
Boeing 737-800	AMC AIRLINES	2
Boeing 737-800	ARKIA ISRAEL AIRLINES	2
Boeing 737-800	CORENDON AIRLINES	2
Boeing 737-800	JET AIR FLY	150
Boeing 737-800	KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	4
Boeing 737-800	LIVINGSTON	2
Boeing 737-800	MERIDIANA	16
Boeing 737-800	MONARCH AIRLINES	5
Boeing 737-800	NEOS	707
Boeing 737-800	PEGASUS AIRLINES	458
Boeing 737-800	ROYAL AIR MAROC	840
Boeing 737-800	RYANAIR	14453
Boeing 737-800	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	6
Boeing 737-800	SMALL PLANET AIRLINES ITALIA	2
Boeing 737-800	SMALL PLANET AIRLINES POLAND	1
Boeing 737-800	TRAVEL SERVICE	4
Boeing 737-800	TUIFLY	6
Boeing 737-800	TURKISH AIRLINES	24
Boeing 737-800	VUELING	4
Boeing 737-900	TURKISH AIRLINES	4
Boeing 747-200 Freighter	SAUDI ARABIAN AIRLINES	2
Boeing 747-400	PULLMANTUR AIR	20
Boeing 757-200 Freighter	EUROPEAN AIR TRANSPORT	557
Boeing 767	BLUE PANORAMA	1
Boeing 767-200	MERIDIANA	14
Boeing 767-200 Freighter	ALITALIA	26
Boeing 767-200 Freighter	LUFTHANSA	8

Boeing 767-200 Freighter	STAR AIR	464
Boeing 767-300	AIR ITALY	1
Boeing 767-300	BLUE PANORAMA	5
Boeing 767-300	MERIDIANA	49
Boeing 767-300	NEOS	184
Canadair Regional Jet	HOP	2
Canadair Regional Jet	LUFTHANSA	22
Canadair Regional Jet	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	2
Canadair Regional Jet 1000	AIR NOSTRUM	1391
Canadair Regional Jet 200	ADRIA AIRWAYS	4
Canadair Regional Jet 200	AIR NOSTRUM	16
Canadair Regional Jet 700	AIR FRANCE	18
Canadair Regional Jet 700	HOP	2
Canadair Regional Jet 700	LUFTHANSA	10
Canadair Regional Jet 900	AIR NOSTRUM	465
Canadair Regional Jet 900	GERMAN WINGS	8
Canadair Regional Jet 900	LUFTHANSA	590
Canadair Regional Jet 900	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	798
De Havilland Dash 8-400	AUSTRIAN AIRLINES	458
De Havilland Dash 8-400	BRUSSELS AIRLINES	16
De Havilland Dash 8-400	LUFTHANSA	2
De Havilland DHC-6 Twin Otter	BUSINESSWINGS	6
Dornier 228	ARCUS-AIR LOGISTIC	2
Dornier 228	BUSINESSWINGS	484
Douglas MD-80	AIR ITALY	28
Douglas MD-80	MERIDIANA	760
Douglas MD-81	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	68
Douglas MD-81	SMALL PLANET AIRLINES ITALIA	12
Douglas MD-82	AIR ITALY	16
Douglas MD-82	BELLE AIR	30
Douglas MD-82	BLUE AIR	10
Douglas MD-82	MERIDIANA	970
Douglas MD-82	MISTRAL AIR	4
Douglas MD-82	SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	24
Douglas MD-83	BELLE AIR	48
Douglas MD-83	SMALL PLANET AIRLINES ITALIA	8
Douglas MD-83	VUELING	4
Embraer 120 Brasilia	SKYBRIDGE	6
Embraer 170	AIR FRANCE	262
Embraer 170	ALITALIA	77
Embraer 170	HOP	2
Embraer 175	ALITALIA	506
Embraer 190	AIR DOLOMITI	6
Embraer 190	AIR FRANCE	2783
Embraer 190	AIR MOLDOVA	236
Embraer 190	AIRONE CITYLINER	1

Embraer 190	ALITALIA	391
Embraer 190	BA CITYFLYER	1
Embraer 190	BRITISH AIRWAYS	1
Embraer 190	JET AIR FLY	2
Embraer 190	KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	1744
Embraer 190	LUFTHANSA	1330
Embraer 190	NIKI LUFTFAHRT	2
Embraer 190	REGIONAL	2
Embraer 190	ROYAL AIR MAROC	2
Embraer 195	AIR DOLOMITI	31
Embraer 195	LUFTHANSA	2605
Embraer RJ135	AIR FRANCE	190
Embraer RJ135	HOP	152
Embraer RJ145	AIR FRANCE	695
Embraer RJ145	HOP	356
Embraer RJ145	REGIONAL	1
Embraer RJ145	SIAVIA	4
Fairchild Merlin/Metro	BINAIR	2
Fokker 100	AIR PORTUGAL (TAP)	2
Fokker 100	AUSTRIAN AIRLINES	1224
Fokker 100	CARPATAIR	4
Fokker 100	SKYBRIDGE	4
Fokker 50	CITYJET	2
Fokker 50	DENIM AIR	2
Fokker 70	AUSTRIAN AIRLINES	628
Fokker 70	KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	390
Gates Learjet 45	RYANAIR	8
Gates Learjet 45	TNT	14
Let410	ICAR AIR	4
Saab 2000	CARPATAIR	4
Saab 2000	DARWIN AIRLINES	4

TOTALE

61.281

Tab 9. Movimenti relativi all'anno 2013 suddivisi per compagnia aerea, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Nell'anno 2013 l'aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna ha rilevato un traffico aereo di 61.281 movimenti, complessivamente tra decolli e atterraggi. Ad ogni aeromobile è stata poi associata la motorizzazione installata, variabile fondamentale per valutare correttamente le emissioni.

Cicli LTO

Un'ulteriore dato di input è stato il numero di cicli LTO per ogni tipologia di aeromobile e relativa motorizzazione suddivisi per apron aeroportuale utilizzato. Nell'anno 2013 si sono registrati complessivamente 30.614 cicli LTO ad ognuno dei quali corrisponde una fase di decollo ed una di atterraggio, come si può infatti notare il numero di decolli più atterraggi sopra riportato risulta essere il doppio dei cicli LTO indicati.

A causa di alcune informazioni mancanti il numero di cicli implementati nel software è stato pari a 30.475. Per ognuna di queste fasi del ciclo LTO il programma ha richiesto l'inserimento dei tempi di processo. A meno delle procedure standard, le uniche variabili indipendenti sono i tempi di taxi-in e di taxi-out.

I tempi di taxiing dipendono dalla distanza percorsa dagli aeromobili e quindi dalla configurazione delle piazzole di sosta rispetto alle due testate della pista di volo. I tre apron che costituiscono l'aeroporto di Bologna sono stati suddivisi nel seguente modo:

- Apron 1 : zona 1.1 ; zona 1.2
- Apron2 : zona 2.1 ; zona2.2
- Apron 3 : zona 3.1

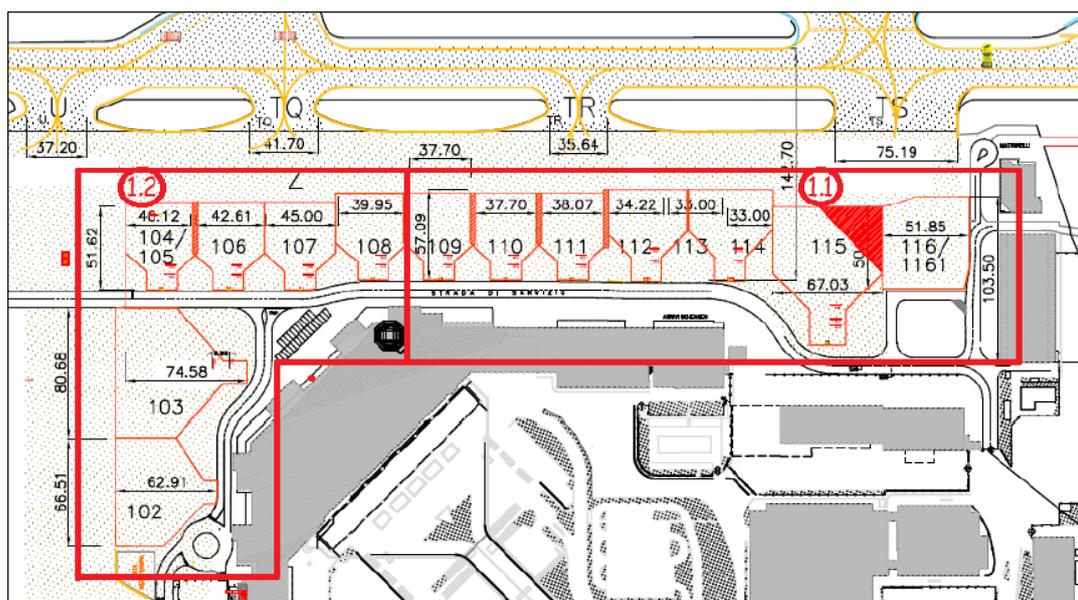


Figura 27. Suddivisione in zone dell'Apron 1, Aeroporto Guglielmo Marconi.

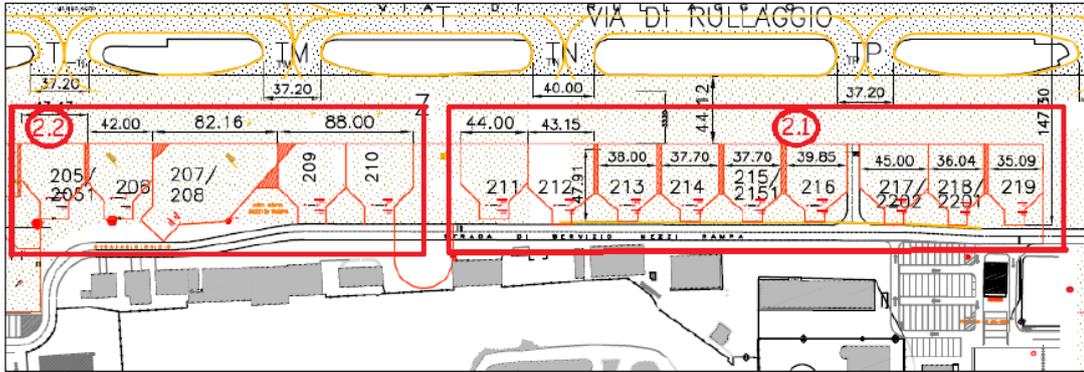


Figura 28. Suddivisione in zone dell'Apron 2, Aeroporto Guglielmo Marconi.

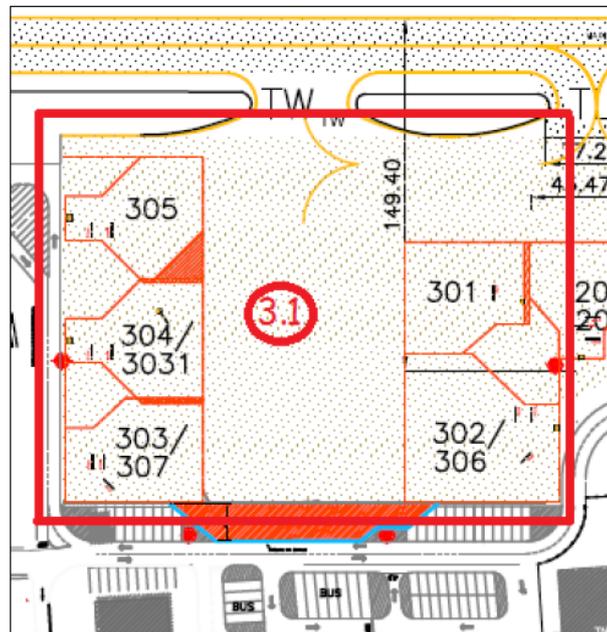


Figura 29. Suddivisione in zone dell'Apron 3, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Di seguito sono riportate le medie dei tempi di taxi-out, riferiti indistintamente alle runway 12 e 30, rilevati nell'anno 2014. Tali valori medi sono stati implementati nel modello EDMS per calcolare i consumi in riferimento alle fasi di taxi-in e taxi-out :

ZONA	MEDIA TAXI-OUT
1.1	9,06
1.2	8,83
2.1	8,88
2.2	8,74
3.1	8,43

Tab 10. Tempi medi di taxi-out, Aeroporto Guglielmo Marconi.

OUTPUT

Il modello EDMS restituisce in output le emissioni di CO₂ per ognuna delle fasi che costituiscono il ciclo LTO suddivisi per aeromobile. Nella tabella 11 è visibile, invece, una sintesi dei risultati ottenuti.

FASE	EMISSIONI TOT CO ₂ (tonn/anno)	%
Taxi-in	5978,707	10,9
Taxi-out	12189,449	22,1
Approach	10019,453	18,2
Take-off	17526,256	31,9
Climb-out	9277,248	16,9
TOTALE	54991,113	

Tab 11. Emissioni ciclo LTO base dati disponibile anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

EMISSIONI CO₂

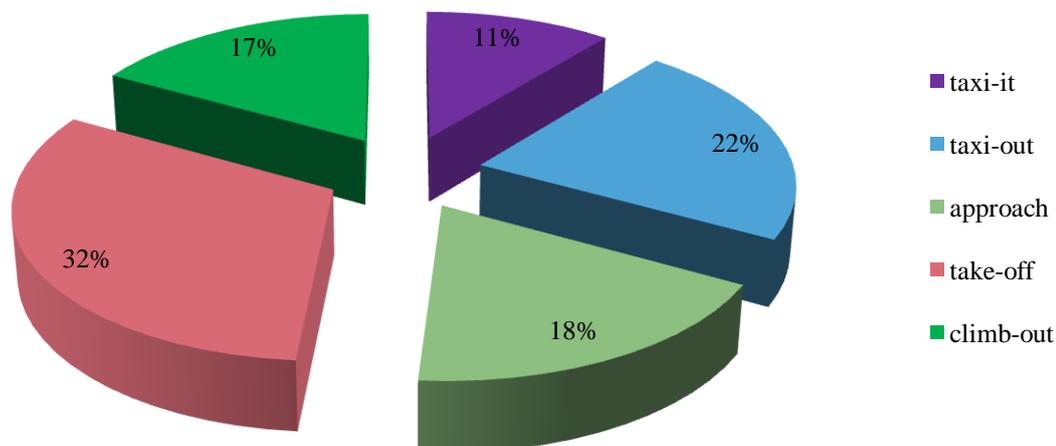


Fig 30. Ripartizione percentuale delle emissioni di CO₂.

Le emissioni totali di CO₂ prodotte dal ciclo LTO dell'anno 2013 risultano pari a 54.991 tonnellate. Di queste il 22 % è prodotto dalla fase di taxi-out, risulta quindi evidente come un intervento che porti ad una riduzione dei consumi di combustibile da parte degli aeromobili durante questa fase e la conseguente riduzione di CO₂ porterebbero sensibili riduzioni all'impatto che l'aeroporto genera sull'ambiente.

6.1.2. INTRODUZIONE DEL TAXIBOT NELL'INFRASTRUTTURA AEROPOTUALE

L'introduzione del mezzo Taxibot per eseguire la procedura di dispatch towing ha visto una fase di studio preliminare in cui si sono analizzate le criticità presenti in collaborazione con i tecnici della società di gestione aeroportuale e successivamente una fase di pianificazione dei tempi e degli spazi in cui eseguire le operazioni di taxi-out. Descriviamo ora nel dettaglio come la procedura di taxi-out avviene al fine di evidenziare quali variabili includere nel successivo calcolo dei consumi e conseguentemente delle emissioni.

Stato Attuale

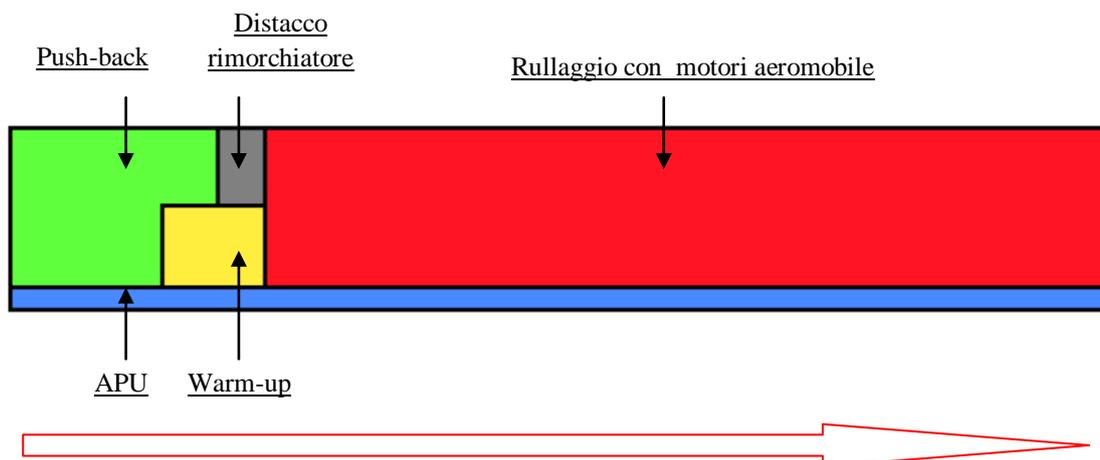


Fig 31. Schema della procedura di Taxi-Out come viene eseguita attualmente.

La procedura di taxi-out che attualmente viene eseguita si costituisce delle seguenti 4 fasi:

- 1 Push-back: l'aeromobile viene spinto da un rimorchiatore al di fuori dello stand in posizione per l'inizio della procedura di rullaggio. In questa fase i motori principali dell'aeromobile vengono accesi per garantire il corretto tempo di warm-up.
- 2 Distacco del rimorchiatore.
- 3 L'aeromobile imbecca la taxiway indicatagli dalla torre di controllo e la percorre sino a raggiungere la testata della pista.
- 4 L'aeromobile si posiziona in linea con l'asse della pista e si prepara alla manovra di decollo.

Scenario Futuro

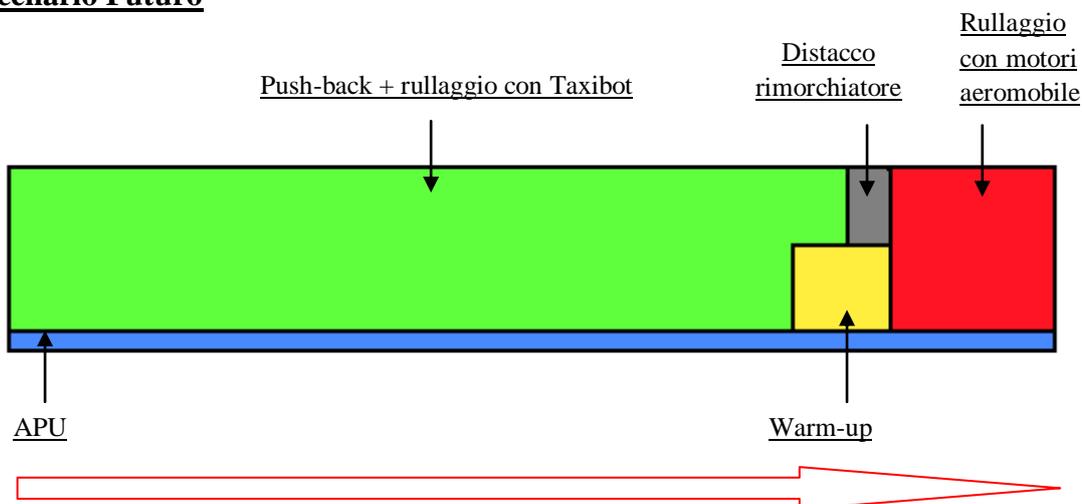


Fig 32. Schema della procedura di Taxi-Out nello scenario di introduzione del Taxibot.

Nello scenario che vede l'introduzione del mezzo Taxibot la procedura di taxi-out si modifica come segue:

- 1 Push-back: l'aeromobile viene spinto dal Taxibot al di fuori dello stand in posizione per l'inizio della procedura di rullaggio.
- 2 L'aeromobile imbocca la taxiway indicatagli dalla torre di controllo e la percorre trainato dal Taxibot sino a raggiungere il punto di distacco del rimorchiatore. Per garantire un corretto tempo di warm-up, l'accensione dei motori avviene 1 minuto prima che questi possano essere utilizzati per la propulsione. Accensione dei motori in fase di traino.
- 2 L'aeromobile percorre l'ultimo tratto della taxiway sino a raggiungere la testata della pista.
- 3 L'aeromobile si posiziona in linea con l'asse della pista e si prepara alla manovra di decollo.

Durante il rullaggio trainato dal Taxibot l'aeromobile accende i motori principali per un tempo di warm-up sufficiente a garantire l'utilizzo dei motori principali per eseguire autonomamente l'ultimo tratto della taxiway che lo separa dalla testata della pista. Questo tempo di warm-up è posto pari ad 1 minuto.

Come risulta evidente dalle due illustrazioni che raffigurano la procedura di taxi-out come avviene attualmente e nello scenario futuro di introduzione del Taxibot, vi sono alcune costanti che non influenzano in alcun modo le emissioni e riguardano il warm-up time e l'Apu. L'accensione dell'Apu risulta infatti necessaria per tutta la durata della procedura di taxi-out al fine di garantire la corretta alimentazione ai sistemi interni dell'aeromobile, i consumi generati dall'Auziliary Power Unit non verranno pertanto inclusi nel calcolo che seguirà. Analogamente il warm-up time deve essere garantito in entrambi i casi, i consumi generati in questa fase verranno comunque conteggiati nello scenario futuro in quanto i dati disponibili sui consumi in fase di taxi-out comprendono il tempo di warm-up.

Gli aspetti che sono risultati maggiormente critici sono legati al distacco dell'aeromobile dal Taxibot in quanto questo deve avvenire:

-in prossimità di una via di ritorno percorribile dal mezzo Taxibot;

-in prossimità di un area di servizio sicura che garantisca, in caso di guasto di una delle parti dell'aeromobile, il diretto intervento di una squadra di operatori aeroportuali;

-in prossimità di un area che garantisca diretto e rapido intervento delle squadre di soccorso nel caso in cui si verificano situazioni di pericolo;

-in prossimità di una via di ritorno percorribile dall'aeromobile e quindi di sufficiente portanza in caso di annullamento della procedura di avvicinamento alla pista.

L'analisi delle criticità sopra citate ha portato a individuare il punto di distacco tra aeromobile e mezzo Taxibot al limite dell'apron 3. Da questa posizione il mezzo Taxibot ritorna in prossimità dell'apron da cui ha eseguito la procedura di push-back. La fotografia sottostante inquadra la posizione da cui l'aeromobile viene scollegato al mezzo Taxibot e dai cui prosegue il rullaggio autonomamente sino a giungere alla testata n°12 della pista.



Fig 33. Volo Alitalia al limite Apron3, Aeroporto Guglielmo Marconi (2015).

PERCORSO DI RULLAGGIO

Scenario futuro

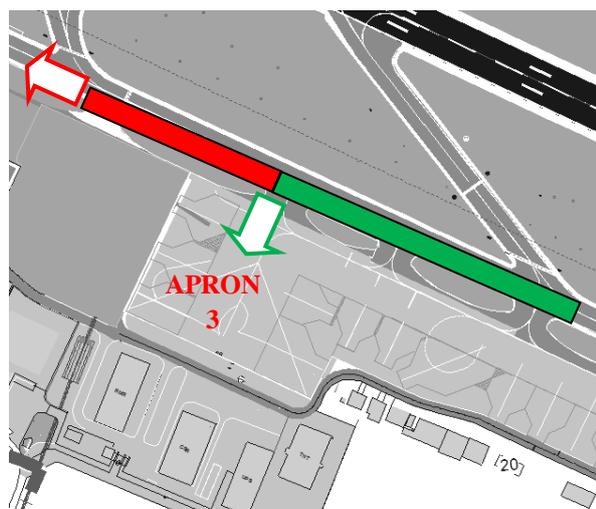


Fig.34 Dettaglio del punto di distacco del Taxibot.

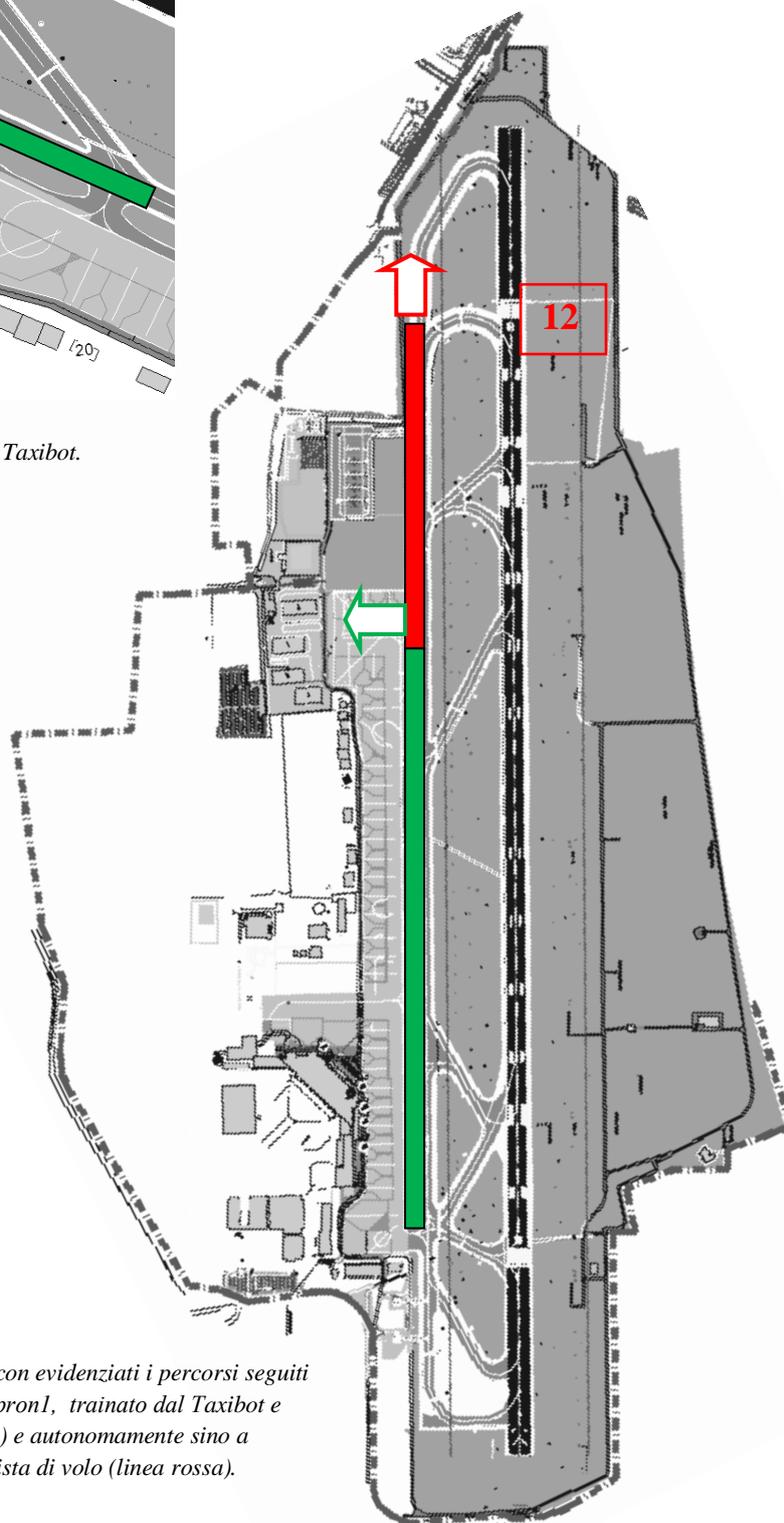


Fig.35 Planimetria aeroportuale con evidenziati i percorsi seguiti dall'aeromobile, a partire dall'apron1, trainato dal Taxibot e quindi a motori spenti linea verde) e autonomamente sino a giungere alla testata n°12 della pista di volo (linea rossa).
Aeroporto Guglielmo Marconi.

Nell'immagine è rappresentato il percorso lungo il quale l'aeromobile viene trainato dal Taxibot (linea verde) e il tratto che percorre autonomamente (linea rossa). La freccia verde indica il punto in cui avviene il distacco del rimorchiatore.

6.1.3. EMISSIONI DI CO₂ NELLO SCENARIO FUTURO

Il calcolo delle emissioni prodotte dalla fase di taxi-out nello scenario futuro con l'introduzione del mezzo Taxibot e la conseguente riduzione dei tempi di utilizzo dei motori principali dell'aeromobile nell'eseguire il rullaggio, è stata eseguita seguendo la WBS (struttura analitica di progetto) di seguito riportata.

I processi di cui si conoscono i parametri di input e per i quali è sufficiente eseguire il calcolo richiesto sono riportati in blu. Quei processi in cui diversamente i parametri di input non sono conosciuti a priori ma debbono essere rilevati, sono indicati in rosso. La WBS ha permesso di individuare l'incognita da rilevare: tempi di taxi-out autonomo, corrispondente al tempo in cui l'aeromobile esegue autonomamente la fase terminale del rullaggio. Tale fase ha inizio nel momento in cui il mezzo Taxibot ha completato il distacco dal carrello anteriore dell'aeromobile e si conclude con il raggiungimento della testata della pista. In questa fase l'aeromobile percorre la taxiway dal punto di distacco facendo uso dei motori principali e contemporaneamente il mezzo Taxibot si dirige verso l'apron da cui ha avuto inizio il push-back, pronto per eseguire l'operazione successiva.

In riferimento agli apron 1, 2 e 3 la geometria dell'infrastruttura aeroportuale risulta decentrata in quanto la distanza media tra apron e testata 12 e 30 della pista è diversa. Tale differenza è più marcata per gli apron 1 e 2 i quali risultano quelli maggiormente utilizzati dall'aviazione civile, con una percentuale di ripartizione dei movimenti pari a :

% di utilizzo apron 1 : 66%

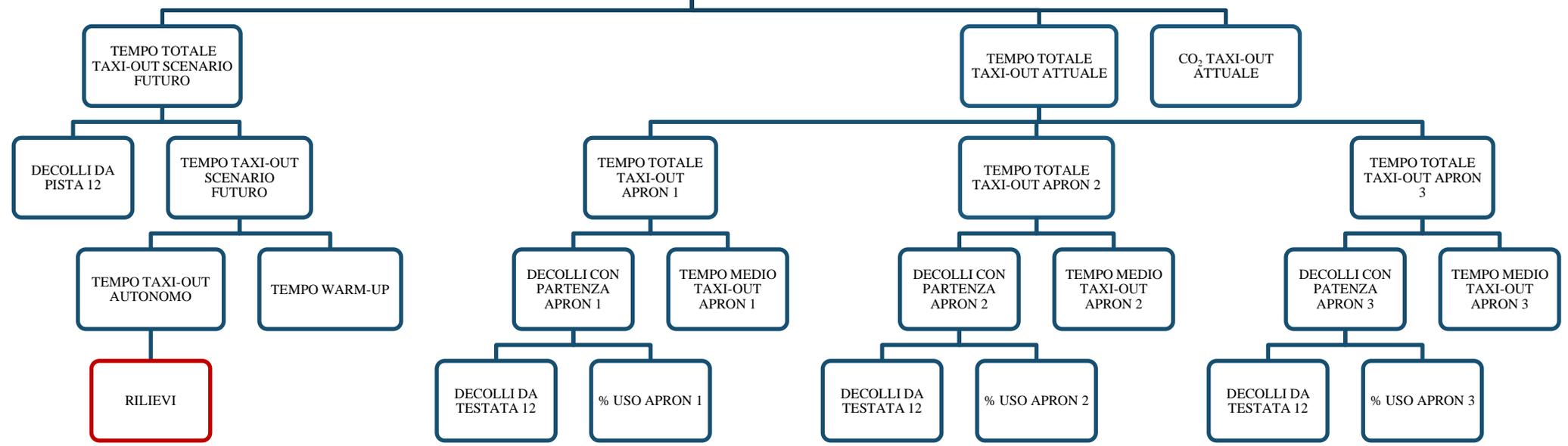
% di utilizzo apron 2 : 29%

% di utilizzo apron 3 : 5%

In considerazione al fatto che l'aeromobile deve compiere parte del rullaggio autonomamente per ragioni tecniche, si è scelto di sviluppare lo scenario futuro per i soli voli con decollo dalla testata 12 della pista, alla quale corrisponde la distanza maggiore tra apron 1 e 2. La percentuale di aeromobili che utilizzano la testata 12 della pista per eseguire il take-off è pari al 61%. L'anno di riferimento per lo studio in esame è il 2013 durante il quale si sono registrati 30.475 decolli di cui 18.590 hanno utilizzato la testata 12 della pista. Il numero di taxi-out considerati sarà quindi pari a 18.590.

WBS
CO₂ TAXIOUT SCENARIO FUTURO

CO₂ TAXI-OUT
SCENARIO FUTURO



6.1.3.1. RILEVAMENTI

La WBS per il calcolo delle emissioni di CO₂ nello scenario futuro ha permesso di individuare il parametro incognito, corrispondente al tempo di taxi-out autonomo. Per ottenere questo dato è stato necessario pianificare ed eseguire dei rilievi presso l'Aeroporto di Bologna. I rilievi sono stati eseguiti a bordo di un veicolo mobile, messo a disposizione della società di gestione aeroportuale, il quale ha permesso di spostarsi rapidamente lungo la strada di servizio dell'airside, al fine di eseguire correttamente le misurazioni. I rilievi sono stati effettuati nella giornata del 19 febbraio 2015 tra le ore 9.00 e le ore 12. Il numero di movimenti di aeromobili osservati è stato pari a 7 ed è stato sufficiente ad ottenere una buona stima del tempo di taxi-out autonomo.



Fig 36. Push-back, Aeroporto Guglielmo Marconi (2015).

La tabella sottostante riporta i tempi progressivi in secondi registrati al termine di ogni operazione. La misurazione dei tempi che caratterizzano la procedura di push-back, benché non rilevanti per il calcolo, è stata realizzata per meglio comprendere quanto questa incidesse sui tempi di Taxi-Out.

I tempi registrati sono i seguenti:

T_0 : inizio procedura di push-back

T_1 : inizio procedura di aggancio mezzo push-back

T_2 : inizio procedura di spinta dell'aeromobile

T_3 : termine procedura di spinta/traino dell'aeromobile

T_A : inizio rullaggio

T_B : raggiungimento limite dell'apron 3

T_C : raggiungimento testata della pista



ORE	STAND	COMPAGNIA	HANDLER	MEZZO	TEMPI REGISTRATI						
					T_0	T_1	T_2	T_3	T_A	T_B	T_C
9.30	109	Blu Express	MH	Diesel Towbar less	0	10	110	240	460	658	780
10.00	105	Lufthansa	MH	Elettrico Towbar less	0	95	222	321	411	571	680
10.40	106	Air France	AS	Diesel Towbar less	0	60	335	404	480	660	822
10.40	102	Ryanair	MH	Elettrico Towbar less	330	350	475	600	753	810	900
11.10	206	Scandinavian	AVP	Diesel Towbar less	0	60	160	320	460	520	680
11.55	111	Aeroflot	AS	Diesel Towbar less	0	17	90	190	490	580	720
11.55	/	Alitalia	MH	Elettrico Towbar less	/	/	/	/	688	840	920

Tab12 . Tempi di push-back rilevati anno 2015, Aeroporto Guglielmo Marconi

Nella tabella sottostante vengono definite le durate di ogni singola operazione:

ΔT_{01} : avvicinamento mezzo push-back

ΔT_{12} : aggancio mezzo push-back

ΔT_{23} : spinta/traino aeromobile

ΔT_{3A} : sgancio e allontanamento mezzo push-back

ΔT_{AB} : rullaggio sino al punto corrispondente al limite dell'apron 3

ΔT_{BC} : rullaggio sino alla testata 12 della pista

ORE	STAND	COMPAGNIA	HANDLER	MEZZO	TEMPI PROCEDURE						TAXI-OUT	
					ΔT_{01}	ΔT_{12}	ΔT_{23}	ΔT_{3A}	ΔT_{AB}	ΔT_{BC}	secondi	minuti
9.30	109	Blu Express	MH	Diesel Towbar less	10	100	130	220	198	122	670	11,2
10.00	105	Lufthansa	MH	Elettrico Towbar less	95	127	99	90	160	109	458	7,6
10.40	106	Air France	AS	Diesel Towbar less	60	275	69	76	180	162	487	8,1
10.40	102	Ryanair	MH	Elettrico Towbar less	20	125	125	153	57	90	425	7,1
11.10	206	Scandinavian	AVP	Diesel Towbar less	60	100	160	140	60	160	520	8,7
11.55	111	Aeroflot	AS	Diesel Towbar less	17	73	100	300	90	140	630	10,5
11.55	/	Alitalia	MH	Elettrico Towbar less	/	/	/	/	152	90	/	/

Tab 13. Tempi fasi caratteristiche del push-back, rilievi anno 2015, Aeroporto Guglielmo Marconi

Il tempo di taxi-out autonomo ΔT_{BC} equivale mediamente a due minuti. Nel calcolo delle emissioni il valore di due minuti viene quindi scelto come tempo necessario al raggiungimento della testata 12 della pista dal punto di distacco del mezzo di traino che avviene al limite dell'apron 3.

La somma del tempo di taxi-out autonomo e del tempo di warm-up corrisponderà al tempo in cui i motori principali, nello scenario futuro, sono accesi e producono un consumo di carburante con conseguente emissioni di gas inquinanti.



Fig 37. Aeromobile in posizione lungo la taxiway al termine del push-back, Aeroporto Guglielmo Marconi (2015).

6.1.3.2. CALCOLO DELLE EMISSIONI

Come è stato evidenziato nella WBS precedentemente illustrata, per ottenere le emissioni di CO₂ prodotte dall'aeromobile durante la procedura di taxi-out, è necessario definire:

- I. tempo totale taxi-out stato attuale : corrisponde al tempo totale speso dagli aeromobile per eseguire la procedura di taxi-out in riferimento ai movimenti rilevati nell'anno 2013 e ai tempi di taxi-out forniti dalla società di gestione aeroportuale a seguito di rilevamenti compiuti nell'anno 2014.
- II. tempo totale taxi-out scenario futuro : corrisponde al tempo totale in cui l'aeromobile utilizza i motori principali per eseguire il rullaggio e si costituisce di tempo di taxi-out autonomo e tempo di warm-up
- III. CO₂ taxi-out attuale : emissioni di CO₂ prodotte dagli aeromobili nell'anno 2013 durante la procedura di taxi-out

Tempo totale taxi-out stato attuale:

Dato un numero di decolli registrati nell'anno 2013 pari a 30.475 e una percentuale di utilizzo delle testate pari al 61% per la testata 12 e del 39% per la testata 30, i decolli che considerati sono 18.590, corrispondente ai decolli dalla testata 12 della pista.

APRON	TEMPO TAXI-OUT MINIMO (minuti)	TEMPO TAXI-OUT MASSIMO (minuti)	TEMPO TAXI-OUT MEDIO (minuti)
1	9,33	10,03	9,68
2	9,3	8,9	9,1
3	8,2	8,2	8,2

Tab 14. Tempi medi di taxi-out, Aeroporto Guglielmo Marconi

APRON	% UTILIZZO	DECOLLI	TEMPO TAXI-OUT SINGOLO (minuti)	TEMPO TAXI-OUT TOTALE	
				minuti	ore
1	66%	12.269	9,68	118.766	1.979
2	29%	5.391	9,1	49.058	818
3	5%	929	8,2	7.622	127

Tab 15. Tempo totale di taxi-out, Aeroporto Guglielmo Marconi

Tempo totale taxi-out stato attuale : 2924 ore

Tempo totale taxi-out scenario futuro:

- tempo taxi-out autonomo : 2 minuti
- tempo warm-up: 1 minuti
- decolli testata 12: 18.590

$$\frac{18590 \times (2 + 1)}{60} = 929,5 \text{ h}$$

Tempo totale taxi-out scenario futuro : 929,5 ore

CO₂ taxi-out scenario futuro:

- tempo totale taxi-out attuale: 2924 ore
- tempo totale taxi-out scenario futuro: 929,5 ore
- CO₂ taxi-out attuale: 12.190 tonn

$$\frac{12190 \times 929,5}{2924} = 3875 \text{ tonn}$$

CO₂ taxi-out scenario futuro : 3.875 tonn

Dal valore dell'emission factor del kerosene, 3,16 kg CO₂/l, conoscendo le tonnellate di CO₂ prodotte attualmente e nello scenario futuro è possibile calcolare le tonnellate di cherosene consumate nell'anno 2013 relativamente alle procedure di taxi-out.

- cherosene stato attuale: 3.857.455 litri
- cherosene scenario futuro: 1.226.172 litri

Risulta evidente come lo scenario futuro definito porti ad una sensibile riduzione in termini di emissioni di CO₂ da una conseguente diminuzione del 68% dei consumi di kerosene attribuiti alla procedura di taxi-out.

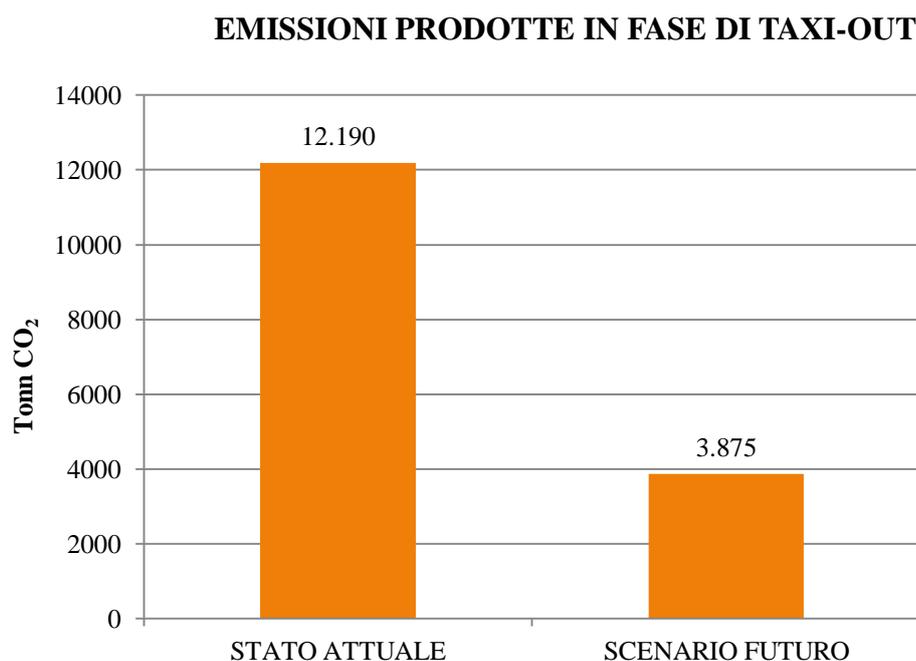


Fig 38. Confronto delle emissioni prodotte in fase di taxi-out nello stato attuale e nello scenario futuro

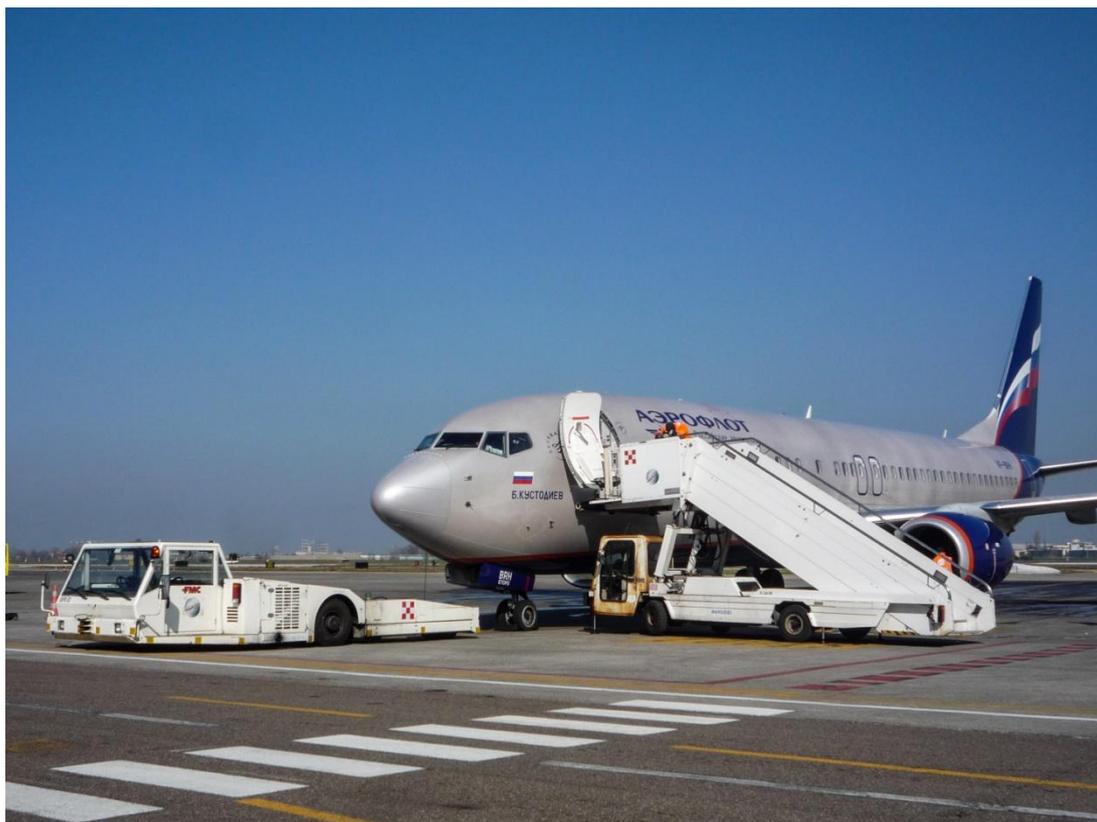


Fig 39. Push-back, Aeroporto Guglielmo Marconi (2015).

L'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) definisce con il termine handling "l'insieme dei servizi svolti in aeroporto finalizzati a fornire assistenza a terra ai vettori aerei". Il Ground Support Equipment (GSE) comprende i mezzi di assistenza a terra che operano negli apron aeroportuali. I servizi che una compagnia di handling deve fornire nel turn around (intervallo di tempo tra due voli successivi) durante lo stazionamento a terra degli aeromobili riguardano:

- carico e scarico passeggeri
- trasporto passeggeri
- carico e scarico bagagli e merci
- trasporto bagagli e merci
- rifornimento carburante
- rifornimento di alimentari e acqua potabile
- energia elettrica per il mantenimento dell'operatività dell'aeromobile
- push-back

Per eseguire queste operazioni la compagnia di handling dispone di diverse tipologie di mezzi al fine di assistere aeromobili con caratteristiche differenti.

Le compagnie di handling che operano presso l'Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna sono :

- Marconi Handling
- Aviapartner S.p.A
- Aviation Services

L'introduzione di una nuova tipologia di mezzo per l'operazione di push-back quale è il Taxibot prevede di valutare i consumi generati dagli attuali tow tractor durante questa procedura al fine di confrontarli con quelli del mezzo Taxibot forniti dall'azienda produttrice, la Israel Aerospace Industries. L'obiettivo è quello di individuare il consumo medio attuale per eseguire il push-back.

Presso l'Aeroporto Marconi sono diffuse due tipologie di rimorchiatori, towbar tractor e towbar less tractor:

- I. i primi, rimorchiatori con barra di traino, hanno la caratteristica di agganciarsi al carrello anteriore dell'aeromobile per mezzo di una barra di traino che meccanicamente garantisce una connessione diretta tra aeromobile e rimorchiatore;

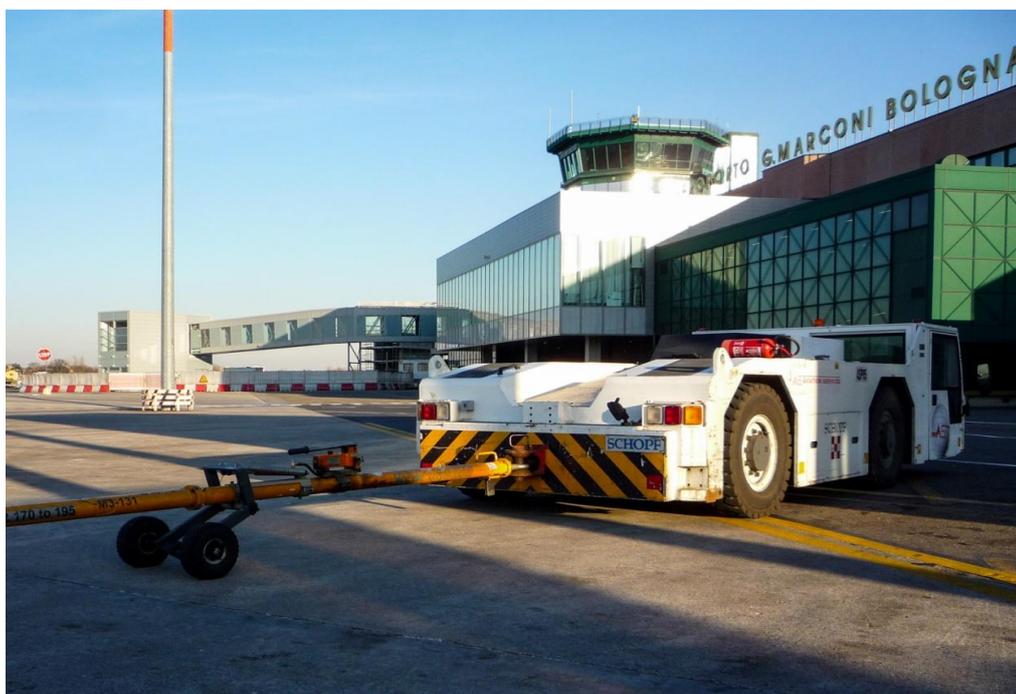


Fig 40. Mezzo towbar con barra di traino agganciata, Aeroporto Guglielmo Marconi (2015).



Fig 41. Dettaglio barre di traino società Marconi Handling, il numero indica l'aeromobile a cui la barra è dedicata. Aeroporto Guglielmo Marconi. (2015).

- II. i rimorchiatori towbar less sono invece privi di barra di traino e il collegamento tra aeromobile e rimorchiatore avviene utilizzando una piattaforma che accoglie la ruota del carrello anteriore e sollevandola la rende solidale al rimorchiatore.



Fig 42. Mezzo towbar less, Aeroporto Guglielmo Marconi. (2015).



Fig 43. Dettaglio mezzo push-back Marconi handling, Aeroporto Guglielmo Marconi. (2015).

Attualmente ognuna delle compagnie di handling operanti presso l'Aeroporto di Bologna fa uso di mezzi diversi per eseguire l'operazione di push-back: diesel, elettrici, towbar e towbar less. Di seguito si elencano i mezzi utilizzati suddivisi per compagnia di handling e la relativa alimentazione:

- Marconi Handling: towbar diesel; towbar-less elettrici
- Aviapartner S.p.A : towbar diesel
- Aviation Services: towbar diesel

Ogni compagnia di handling stipula privatamente un contratto con i vettori aerei a cui garantisce tutti i servizi di supporto a terra. Nell'anno 2013 la ripartizione del GSE è stata:

- Marconi Handling 70%
- Aviapartner S.p.A 7%
- Aviation Services 23%

6.2.1. CALCOLO DEI CONSUMI

Il calcolo dei consumi di carburante dovuti all'operazione di push-back vengono realizzati attraverso la seguente procedura:

- I. calcolo dei litri di carburante consumati nell'anno 2013 da ognuno dei diversi mezzi push-back facendo uso delle carte carburante fornite dalle società di handling.
- II. rilevare con quale frequenza vengono utilizzati i mezzi push-back elettrici e diesel e se vi è una correlazione con gli aeromobili con cui si deve operare.

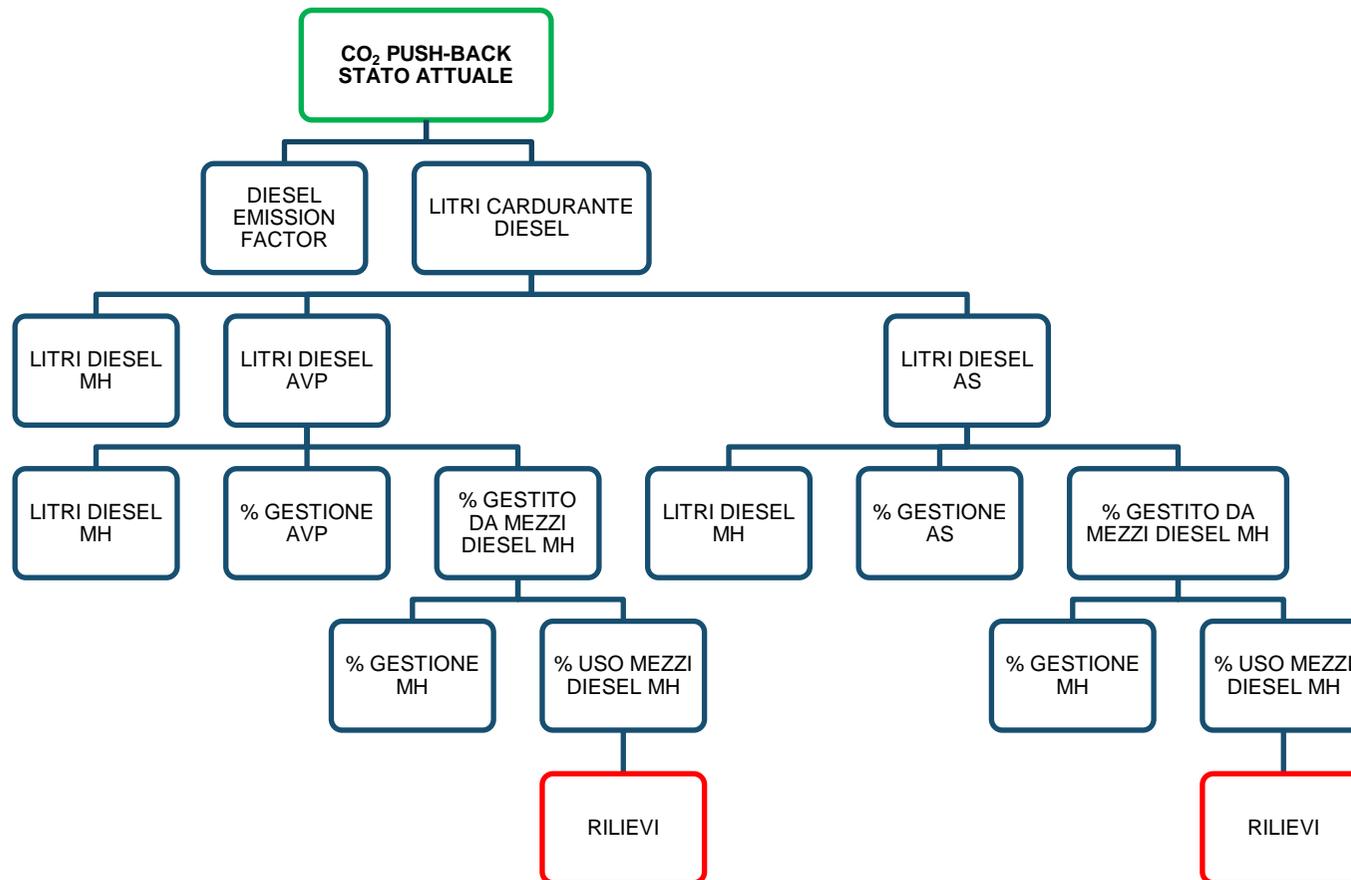
Come evidenziato dalle percentuali di ripartizione del GSE riferite all'anno 2013, la società Marconi Handling è responsabile del 70% del supporto a terra fornito ai vettori aerei. Questo ha permesso di eseguire una semplificazione dei calcoli, valutando unicamente i consumi di carburante riferiti ai mezzi tow tractor in uso alla società Marconi Handling. Nota la tipologia di veicoli adottati dalle altre due società di handling operanti presso l'aeroporto e il numero di movimenti da esse gestito, si può correttamente stimare il consumo generato dall'operazione di push-back.

L'adozione di questa semplificazione è stata possibile in quando la società Marconi Handling è la sola a disporre di mezzi towbar less elettrici il cui consumo non è direttamente responsabile delle emissioni di gas serra nell'ambiente aeroportuale e pertanto escluso dal calcolo.

Il calcolo delle emissioni relativamente a questa fase del taxi-out prodotte dalla fase di push-back è stata eseguita seguendo la WBS (struttura analitica di progetto) di seguito riportata.

I processi di cui si conoscono i parametri di input e per i quali è sufficiente eseguire il calcolo richiesto sono riportati in blu. Quei processi in cui diversamente i parametri di input non sono noti priori e dovranno essere quindi rilevati , sono indicati in rosso. La WBS ha permesso di individuare l'incognita da rilevare: % utilizzo mezzi diesel Marconi Handling, ottenuta osservando un numero sufficiente di operazioni.

WBS
CO₂ PUSH-BACK STATO ATTUALE



Per la realizzazione dei calcoli sui consumi vi è stata la piena collaborazione della società Marconi Handling la quale ha fornito le carte carburante giornaliere dei mezzi utilizzati per l'operazione di push-back in riferimento all'anno 2013.



Fig 44. Rimorchiatore elettrico TR37 towbar less, Marconi Handling Aeroporto Guglielmo Marconi.(2015).

Marconi Handling

Ground Support Equipment

	NUMERO SOCIALE	ANNO	MARCA	MODELLO/MATRICOLA
TRATTORE PUSH BACK (TOW-BAR LESS)	TR.32	1998	Goldhofer	AST3R / Matr WGOAST023W0070060
	TR.33	2009	Douglas	DK2810/TBL 180 N 5247
	TR.36	2011	Douglas	DK2874/TBL 180 N 5314
	TR.37	2012	TLD	TPX 100E / T27673
	TR.38	2012	TLD	TPX 100E / T27802

Tab 16. Trattori push-back towbar less Marconi Handling, Aeroporto Guglielmo Marconi.

	NUMERO SOCIALE	ANNO	MARCA	MODELLO/MATRICOLA
TRATTORE PUSH BACK (TOW-TUGS)	TR.12	1990	Fresia	SP300
	TR.23	1995	Fresia	SP300
	TR.35	2010	TLD	TMX-150 / T23110

Tab 17. Trattori push-back towbar Marconi Handling, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Di seguito viene riportata la tabella che riassume i consumi, espressi in litri di carburante diesel, associati ai diversi tow tractor.

ANNO 2013

TOW-BAR LESS						TOW-TUGS			
MESE	TR.32	TR.33	TR.36	TR.37	TR.38	TR.12	TR.23	TR.35	TOTALE
Gennaio	0	100,86	58,5	0	0	272,63	0	134,64	567
Febbraio	0	482	109	0	0	251,05	0	101,5	944
Marzo	0	488,14	433,1	0	0	224,22	0	80	1225
Aprile	0	633,01	287,34	0	0	269,27	0	0	1190
Maggio	0	380,39	469,99	0	0	110	0	0	960
Giugno	0	445,15	416,05	0	0	136	0	0	997
Luglio	0	540,95	279,22	0	0	108,5	139,68	45	1113
Agosto	0	80,5	519,27	0	0	0	0	30	630
Settembre	0	217,03	571,65	0	0	433	0	40,94	1263
Ottobre	0	496,76	309,47	0	0	269	0	30,4	1106
Novembre	0	413,13	388,55	0	0	136,91	0	38,73	977
Dicembre	0	361,24	461,61	0	0	448,6	282,43	38	1592
TOTALE	0	4639	4304	0	0	2659	422	539	12.563

Tab 18. Consumi di carburante mezzi Marconi Handling anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Come si può osservare i mezzi TR37 e TR38 presentano consumi pari a zero in quanto mezzi ad alimentazione elettrica. I valori di consumo mensili in riferimento ai diversi mezzi sono stati riportati su di un grafico a barre che ne semplifica la lettura evidenziando l'andamento annuo. Per realizzare il calcolo sono stati utilizzati i dati riferiti all'anno 2013 in quanto la società di gestione aeroportuale al momento della stesura dell'elaborato non ha reso disponibile il documento BDV (Base Dati Volo) riferito all'anno 2014. Per verificare che la valutazione realizzata sia comunque valida anche per anni successivi al 2013, si sono estrapolati i dati sui consumi di carburante dei tow tractor della società marconi Handling dell'anno 2014.

ANNO 2014

MESE	TOW-BAR LESS					TOW-TUGS			
	TR.32	TR.33	TR.36	TR.37	TR.38	TR.12	TR.23	TR.35	TOTALE
Gennaio	0	422	573	0	0	72	115	142	1324
Febbraio	0	533	251	0	0	242	0	0	1026
Marzo	0	314	434	0	0	191	166	133	1238
Aprile	0	305	374	0	0	0	0	0	680
Maggio	0	358	342	0	0	156	0	109	965
Giugno	0	385	257	0	0	159	0	80	882
Luglio	0	512	552	0	0	259	0	64	1388
Agosto	0	427	354	0	0	84	0	0	866
Settembre	0	376	419	0	0	0	162	40	997
Ottobre	0	303	498	0	0	98	0	115	1013
Novembre	0	537	479	0	0	269	0	85	1370
Dicembre	43	420	574	0	0	0	0	155	1193
TOTALE	43	4894	5109	0	0	1530	443	923	12.942

Tab 20. Consumi di carburante mezzi Marconi Handling anno 2014, Aeroporto Guglielmo Marconi.

CONFRONTO		
MESE	2013	2014
gennaio	567	1324
febbraio	944	1026
marzo	1225	1238
aprile	1190	680
maggio	960	965
giugno	997	882
luglio	1113	1388
agosto	630	866
settembre	1263	997
ottobre	1106	1013
novembre	977	1370
dicembre	1592	1193
TOTALE	12.563	12.942

Tab 22. Confronto 2013-2014 consumi di carburante mezzi Marconi Handling, Aeroporto Guglielmo Marconi.

CONSUMI PUSH-BACK TUGS CONFRONTO ANNI 2013-2014

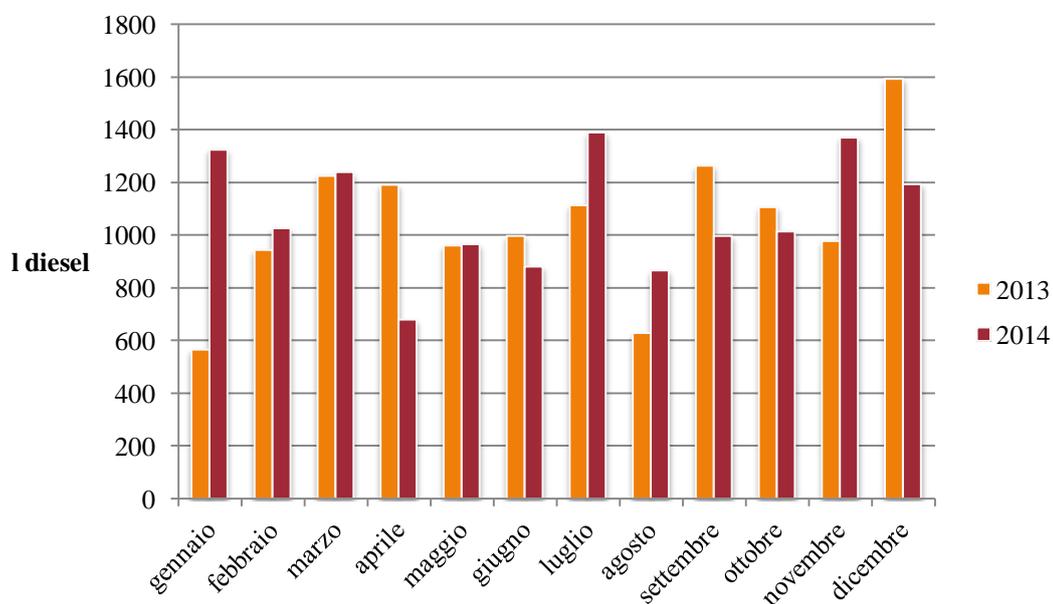


Fig tab 22. Confronto consumi in riferimento alla Tab 22.

Dal confronto sui consumi nell'anno 2013 e 2014 è evidente come non vi sia stato un sensibile aumento. Il numero totale di litri di diesel consumati dai mezzi tow tractor

della società Marconi Handling nell'eseguire l'operazione di push-back nell'anno 2013 è pari a 12.563 litri.

6.2.2. EMISSIONI DI CO₂ ALLO STATO ATTUALE

Utilizzando i consumi dei mezzi push-back della società Marconi Handling nell'anno 2013 vengono calcolati i consumi relativi ai mezzi push-back delle società Aviation Services e Aviapartner:

HANDLER	% GESTIONE GSE	% GESTITO MEZZI DIESEL	DIESEL (litri]	CO ₂ (kg)
Marconi Handling	70%	32%	12.563	33.543,21
Aviapartner	7%	100%	3.925,9	10.482,253
Aviation services	23%	100%	12.899,5	34.441,689

Tab 23. % gestione GSE e % utilizzo dei mezzi diesel degli handler, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Attualmente la procedura di push-back produce 78467 kg di CO₂. Dovendo considerare i soli decolli con partenza dalla testata 12 della pista, per i quali è ipotizzato l'utilizzo del mezzo Taxibot nello scenario futuro, l'ammontare di CO₂ prodotta dalle operazioni di push-back è pari al 61% del totale : 47.864 kg.

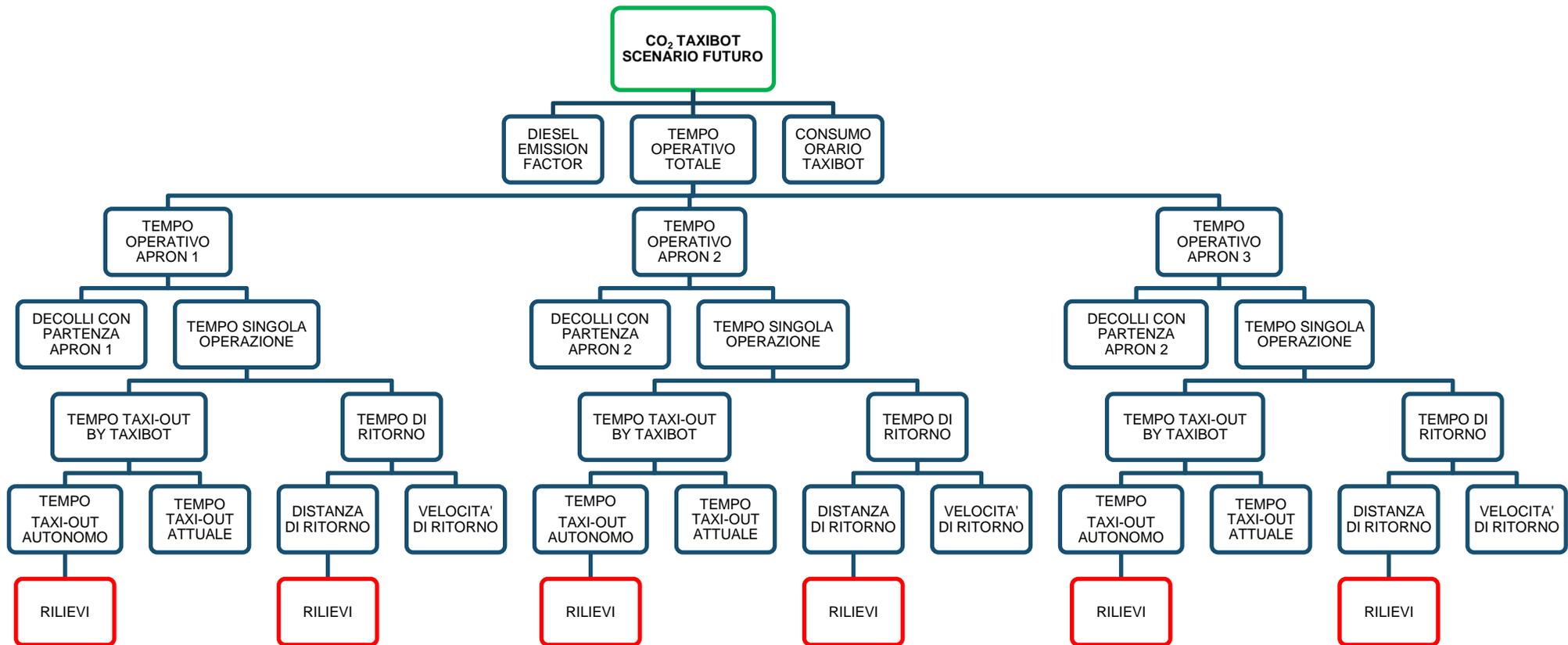
6.2.3. EMISSIONI DI CO₂ NELLO SCENARIO FUTURO

Il calcolo delle emissioni prodotte dalla fase di taxi-out nello scenario futuro con l'introduzione del mezzo Taxibot e la conseguente riduzione dei tempi di utilizzo dei motori principali dell'aeromobile nell'eseguire il rullaggio, è stata eseguita seguendo la WBS (struttura analitica di progetto) di seguito riportata.

I processi di cui si conoscono i parametri di input e per i quali è sufficiente eseguire il calcolo richiesto sono riportati in blu. Quei processi in cui diversamente i parametri di input non sono conosciuti ma debbono essere rilevati, sono indicati in rosso. La WBS ha permesso di individuare l'incognita da rilevare: distanza di ritorno, corrispondente alla distanza che separa il punto di distacco del Taxibot e l'apron da cui ha avuto origine l'operazione. Tale distanza è utile al fine di calcolare le emissioni prodotte dal mezzo Taxibot, si assume infatti che il mezzo una volta giunto al limite dell'apron 3 dove abbandona aeromobile, debba necessariamente fare ritorno all'apron dove era originariamente disposto.

Il bilancio delle emissioni risulta pertanto attendibile.

WBS
CO₂ TAXBOT SCENARIO FUTURO



6.2.3.1 RILEVAMENTI



Fig 45. Strada di servizio, Aeroporto Guglielmo Marconi. (2015).

Come individuato dalla WBS i rilevamenti riguardano il tempo di taxi-out autonomo e la distanza di ritorno del mezzo Taxibot. Il primo valore è stato già precedentemente calcolato attraverso i rilevamenti eseguiti presso l'aeroporto, la distanza di ritorno deve invece essere calcolata sfruttando la planimetria dell'air-side aeroportuale.

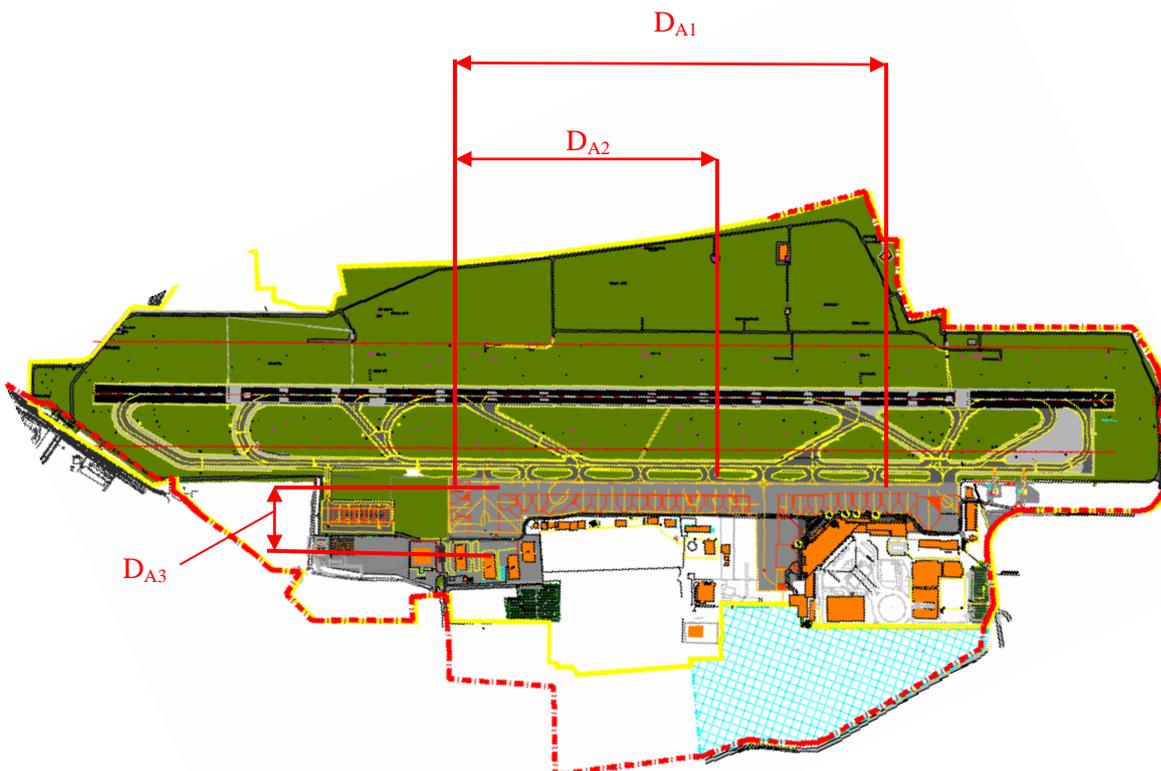


Fig 46. Planimetria aeroporto Guglielmo Marconi.

- **D_{A1}**: Distanza di ritorno apron 1: 1100 metri
- **D_{A2}**: Distanza di ritorno apron 2: 600 metri
- **D_{A3}**: Distanza di ritorno apron 3: 200 metri

6.2.3.2. CALCOLO DELLE EMISSIONI

Il calcolo delle emissioni viene eseguito se si conosce il tempo operativo totale del mezzo Taxibot e il consumo orario. Per conoscere il consumo orario del Taxibot e la tipologia di mezzo da utilizzarsi, Narrow-body o Wide-body, si è contattata l' Istrael Aerospace Industries, azienda a capo del team di sviluppo del Taxibot che ha fornito le specifiche tecniche del mezzo e i relativi consumi. Due sono le tipologie di mezzo disponibili:

-*Narrow-body Taxibot (NBT)* in grado di trainare aeromobili con un peso massimo al decollo di 123 tonnellate;

-*Wide-body Taxibot (WBT)* per il push-back di aeromobili con un peso massimo al decollo superiore alle 123 tonnellate.

Da un'analisi del traffico aeromobili che interessa l'Aeroporto di Bologna si è osservato come oltre il 97% degli aeromobili abbia un peso massimo al decollo contenuto entro le 123 tonnellate e pertanto si è scelto di utilizzare nell'ipotesi di scenario futuro unicamente il Narrow-body taxibot.

Di seguito è riportato l'elenco degli aeromobili che hanno utilizzato lo scalo bolognese nell'anno 2013, anno assunto come riferimento, e il relativo mezzo Taxibot associato.

TIPOLOGIA DI AEROMOBILE	MOVIMENTI	%	TONNES	TAXIBOT
Boeing 737-800	8345,5	27,2%	71	NBT
Airbus A320	4645,5	15,2%	74	NBT

Embraer 190	3250,5	10,6%	48	NBT
Airbus A319	3078	10,0%	64	NBT
Embraer 195	1318	4,3%	53	NBT
Canadair Regional Jet 900	930,5	3,0%	38	NBT
Boeing 737-300	800,5	2,6%	56	NBT
Canadair Regional Jet 1000	695,5	2,3%	42	NBT
Fokker 100	617	2,0%	46	NBT
BAe.146-200 Freighter	609,5	2,0%	42	NBT
Embraer RJ145	528	1,7%	22	NBT
Douglas MD-82	527	1,7%	68	NBT
Fokker 70	509	1,7%	42	NBT
Avro RJ100	407	1,3%	45	NBT
Douglas MD-80	394	1,3%	68	NBT
Airbus A321	390,5	1,3%	89	NBT
Boeing 737-500	322,5	1,1%	60	NBT
Bae.146-300 Freighter	278,5	0,9%	44	NBT
Boeing 757-200 Freighter	278,5	0,9%	116	NBT
Boeing 737-400	277	0,9%	68	NBT
Boeing 737-700	257	0,8%	70	NBT
Embraer 175	253	0,8%	38	NBT
Boeing 767-200 Freighter	249	0,8%	143	WBT
Dornier 228	243	0,8%	7	NBT
De Havilland Dash 8-400	238	0,8%	29	NBT
Airbus A300 B6 Freighter	229,5	0,7%	170	WBT
Embraer RJ135	171	0,6%	21	NBT
Embraer 170	170,5	0,6%	36	NBT
Avro RJ85	131	0,4%	44	NBT
Boeing 767-300	119,5	0,4%	185	WBT
ATR 72	74	0,2%	22	NBT
Boeing 737-600	53	0,2%	56	NBT
Douglas MD-81	40	0,1%	68	NBT
Douglas MD-83	30	0,1%	68	NBT
ATR 42-500	23	0,1%	16,7	NBT
Airbus A318	19	0,1%	59	NBT
Canadair Regional Jet 700	15	0,0%	34	NBT
Canadair Regional Jet	13	0,0%	22	NBT
Gates Learjet 45	11	0,0%	10	NBT
Boeing 747-400	10	0,0%	397	WBT
Canadair Regional Jet 200	10	0,0%	24	NBT
Boeing 717-200	9	0,0%	55	NBT
Boeing 737-300 Freighter	9	0,0%	56	NBT
Boeing 767-200	7	0,0%	143	WBT
Airbus A300 B4 Freighter	5	0,0%	170	WBT
Airbus A300 Freighter	4	0,0%	170	WBT
Bae.146	4	0,0%	42	NBT

Saab 2000	4	0,0%	23	NBT
Airbus A310-300	3	0,0%	150	WBT
Airbus A330	3	0,0%	230	WBT
Antonov 12	3	0,0%	61	NBT
Boeing 737	3	0,0%	53	NBT
De Havilland DHC-6 Twin Otter	3	0,0%	6	NBT
Embraer 120 Brasilia	3	0,0%	12	NBT
Airbus A310	2	0,0%	150	WBT
Airbus A330-200	2	0,0%	230	WBT
Boeing 737-900	2	0,0%	75	NBT
Fokker 50	2	0,0%	21	NBT
Let410	2	0,0%	7	NBT
Airbus A310-300 Freighter	1	0,0%	150	WBT
Airbus A340-200	1	0,0%	275	WBT
Antonov 26 FREIGHTER	1	0,0%	21	NBT
Antonov 72	1	0,0%	35	NBT
Bae.146-300	1	0,0%	44	NBT
Boeing 737 Freighter	1	0,0%	53	NBT
Boeing 747-200 Freighter	1	0,0%	377	WBT
Fairchild Merlin/Metro	1	0,0%	7	NBT
Boeing 767	0,5	0,0%	143	WBT
TOTALE	30640,5	100,0%		

Tab 24. Tipologie di aeromobili presenti nell'aeroporto Guglielmo Marconi nell'anno 2013.

- **NBT: 30003 movimenti, corrispondente al 97,92%**
- **WBT: 637 movimenti, corrispondente al 2,08%**

Nella tabella seguente sono indicati i tempi di taxi-out attuali e il tempo di taxi-out autonomo con i quali si è potuto calcolare il tempo in cui l'aeromobile viene trainato dal mezzo Taxibot, relativamente ai decolli dalla testata 12 della pista con origine nell'apron 1, 2 e 3. Si è assunta una velocità massima di percorrenza delle strade di servizio e dei piazzali per il ritorno del mezzo Taxibot pari a 30 km/h in riferimento ai limiti imposti dal regolamento di scalo. Il tempo operativo corrisponde al tempo di utilizzo del Taxibot per la totalità dei movimenti considerati, inclusi i tempi di ritorno. Tale valore, unito al consumo orario caratteristico del Narrow-body Taxibot assunto pari a 22,712 l/h, permette di ottenere il consumo totale del mezzo.

Per il calcolo delle emissioni di CO₂ prodotte si utilizza un fattore emissivo per combustibile diesel di 2,67 kg/l.

APRON	decolli	tempo taxi-out attuale [minuti]	tempo taxi-out autonomo [minuti]	tempo taxi-out taxibot [minuti]	distanza ritorno [metri]	tempo ritorno [minuti]	tempo singola operazione [minuti]	tempo operativo [minuti]
1	12.269	9,68	2	7,68	1.100	2,20	9,88	121.230
2	5.391	9,10	2	7,10	600	1,20	8,30	44.748
3	929	8,20	2	6,20	200	0,40	6,60	6.134

Tab 25. Tempi operativi procedura di taxi-out nello scenario futuro, Aeroporto Guglielmo Marconi.

Tempo operativo totale: 2868,56 ore

Combustibile consumato dal Taxibot: 65152 litri

CO₂ prodotta dal Taxibot: 174 tonnellate

Le emissioni sono riferite alle procedure di push-back e dispatch towing per decolli in partenza dalla testata 12 della pista e pertanto a queste vanno aggiunte quelle dovute alle procedure di push-back per decolli in partenza dalla testata 30 della pista i quali, nello scenario futuro vengono eseguiti senza l'utilizzo del Taxibot Narrow Body.

7. CONCLUSIONI

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia come un l'intervento proposto garantisca un efficace riduzione dell'impatto ambientale generato, valutato in termini di CO₂ emessa, dall'infrastruttura aeroportuale di Bologna.

L'indagine svolta nell'anno 2012 dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) aveva individuato e quantificato i principali contributori alle emissioni di origine aeroportuale dello scalo bolognese sottolineando come il ciclo LTO ne sia il principale responsabile. Risultava dunque chiaro dove gli sforzi avrebbero dovuto concentrarsi.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle principali sorgenti emissive dell'Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna su base dati disponibile all'anno 2013.

Emissioni CO₂ di origine aeroportuale

SORGENTE	EMISSIONI CO₂ (kg)
Traffico veicolare indotto	37.858.060
Energia elettrica	5.620.555
Energia prodotta in aeroporto da metano	1.152.126
Energia prodotta in aeroporto da diesel	611.256
Ciclo LTO aeromobili	54.991.113
Equipaggiamento handling di terra	1.195.825
Totale	101.428.935

Tab 26. Emissioni di origine aeroportuale dati disponibili anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

EMISSIONI CO₂ origine aeroportuale

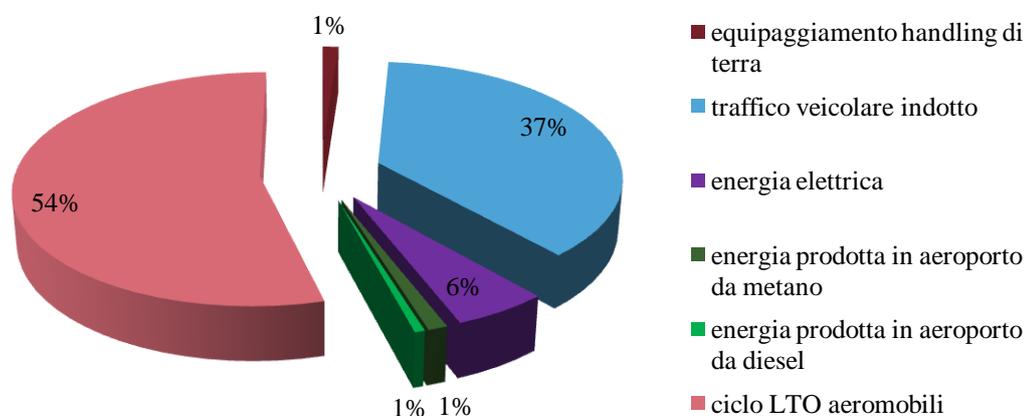


Fig 47. Ripartizione percentuale dei principali contribuenti alle emissioni aeroportuali.

Emissioni CO₂ da ciclo LTO

FASE	EMISSIONI TOT CO ₂ (kg)	%
Taxi-in	5.978.707	11
Taxi-out	12.189.449	22
Approach	10.019.453	18
Take-off	17.526.256	32
Climb-out	9.277.248	17
TOTALE	54.991.113	

Tab 27. Emissioni ciclo LTO base dati disponibile anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

EMISSIONI CO₂ *ciclo LTO*

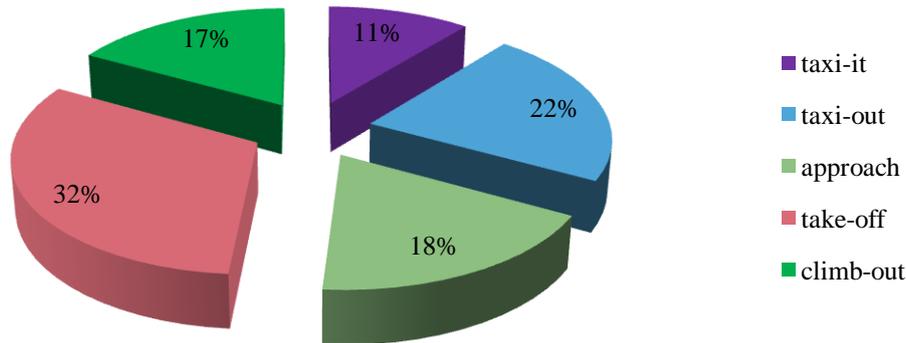


Fig 48. Ripartizione percentuale delle emissioni di CO₂.

7.1. LIVELLO EMISSIVO NELLO SCENARIO FUTURO

Lo scenario futuro proposto nell'elaborato è caratterizzato dall'introduzione di un innovativo mezzo handling, il Taxibot Narrow-body che permette di eseguire la procedura di push-back e dispatch towing con i motori principali dell'aeromobile spenti. Il mezzo viene guidato attraverso i comandi di plancia direttamente dal pilota dell'aeromobile il quale si dirige autonomamente sino ad un punto limite oltre il quale continuerà il rullaggio autonomamente sfruttando i motori principali dell'aeromobile sino a quel momento spenti.

La necessità di eseguire la parte terminale del taxi-out utilizzando i motori dell'aeromobile è imposta dalle compagnie aeree per motivi di sicurezza e per garantire il corretto warm-up dei motori. Una volta sconnesso il Taxibot, l'operatore a guida del mezzo provvede a riportarlo nell'apron da cui ha avuto origine la procedura.

Andremo ora ad analizzare nel dettaglio come, l'introduzione di questo mezzo porti ad una sensibile riduzione in termini di emissioni di CO₂ prodotta.

Emissioni CO₂

La tabella 28 e la figura 49 mostrano le emissioni in termini di tonnellate di CO₂ prodotte annualmente dall'attuale procedura di taxi-out a confronto con quelle prodotte annualmente in uno scenario futuro con l'introduzione del mezzo Taxibot. La riduzione nelle emissioni di CO₂ è pari a **8.207,5 tonnellate/anno**.

Tonnellate CO ₂	AEREOMOBILI TAXI-OUT	RIMORCHIATORI PUSH-BACK/DISPATCH TOWING
STATO ATTUALE	12.190	78,5
SCENARIO FUTURO	3.857	204

Tab 28. Confronto emissioni annue CO₂ da aeromobili e rimorchiatori, Aeroporto Guglielmo Marconi.

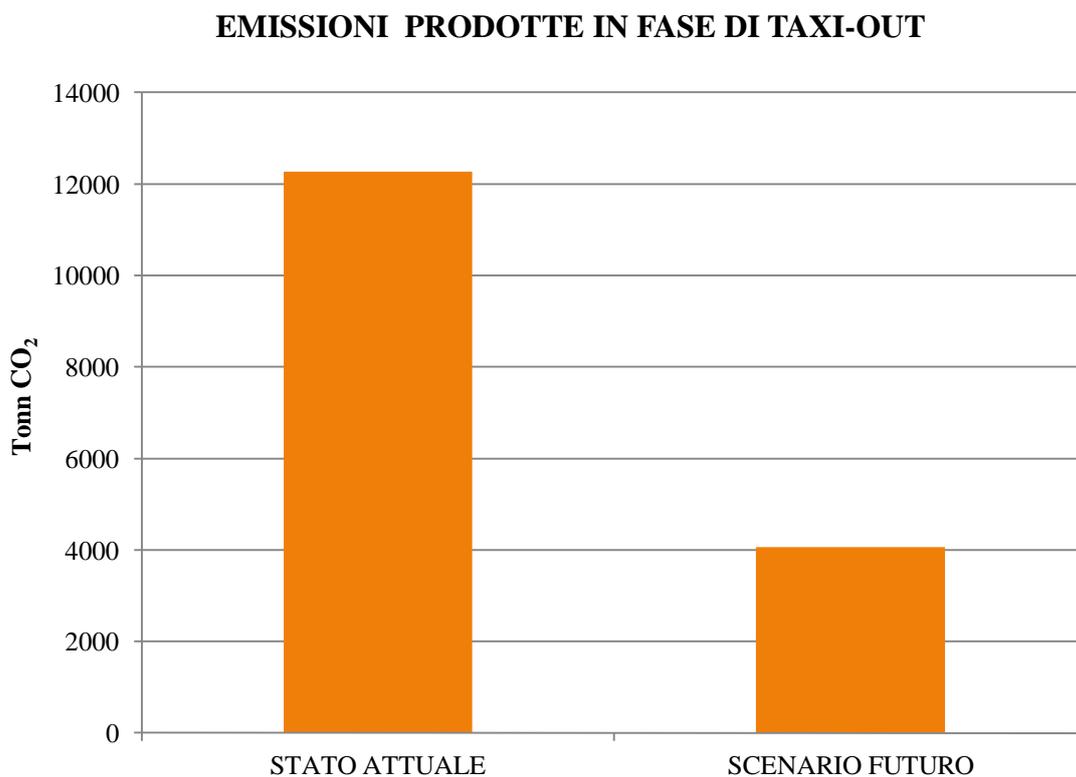


Fig 49. Confronto delle emissioni prodotte in fase di taxi-out nello stato attuale e nello scenario futuro.

Consumo

La tabella 29 e la figura 50 mostrano i consumi annui prodotti, in termini di litri di cherosene e diesel, dall'attuale procedura di taxi-out a confronto con quelli prodotti annualmente in uno scenario futuro con l'introduzione del mezzo Taxibot.

Litri	AEREOMOBILI TAXI-OUT	RIMORCHIATORI PUSH-BACK/DISPATCH TOWING
STATO ATTUALE	3.857.455	29.388
SCENARIO FUTURO	1.226.172	76404*

Tab 29. Confronto consumi da aeromobili e rimorchiatori, Aeroporto Guglielmo Marconi.

* si sono considerate le emissioni prodotte dal Taxibot per i decolli con partenza dalla testata 12 della pista e le emissioni prodotte nelle attuali procedure di push-back per i decolli dalla testata 30 della pista (39% di 29.388 litri diesel totali) che nello scenario futuro rimangono invariati.

CONSUMI PRODOTTI IN FASE DI TAXI-OUT

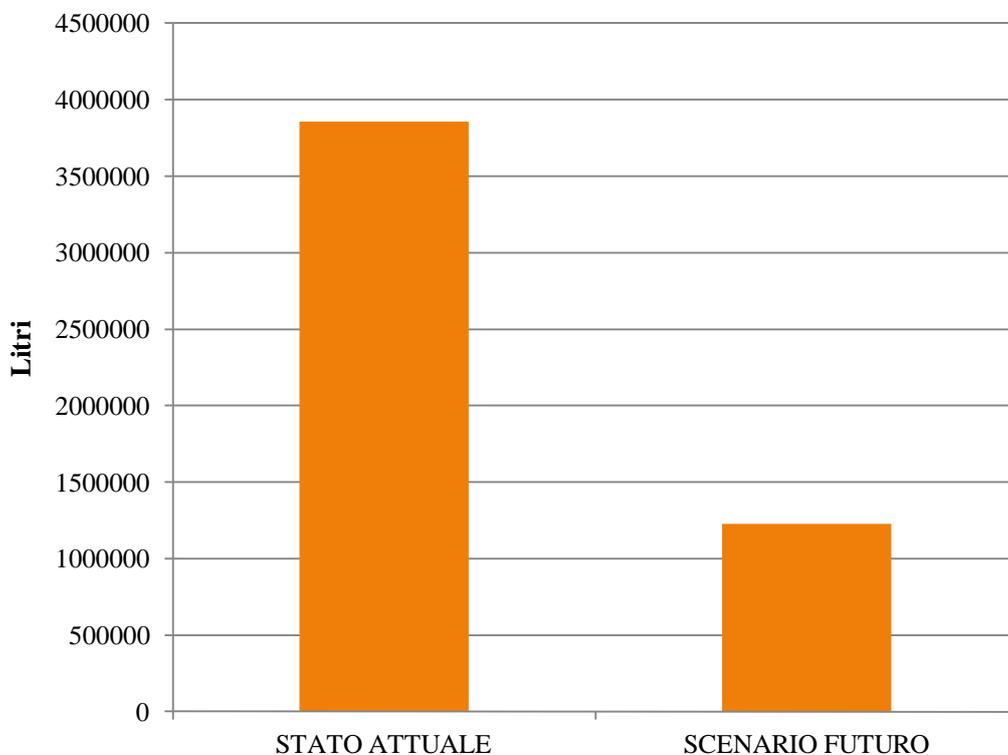


Fig 50. Confronto dei consumi prodotti in fase di taxi-out nello stato attuale e nello scenario futuro.

I risultati evidenziano una sensibile riduzione del 68,2% delle emissioni di CO₂ prodotte dall'aeromobile durante la fase di taxi-out. Considerando inoltre le emissioni prodotte dal mezzo Taxibot e dagli attuali mezzi per il push-back a disposizione delle compagnie di handling, il bilancio complessivo delle emissioni indica una riduzione del 66,5% in riferimento al solo taxi-out. Considerando invece la totalità delle emissioni di CO₂ prodotte dall'infrastruttura aeroportuale di Bologna, pari a 101.428,935 tonnellate, la riduzione si attesta intorno al 8,1 %.

7.2. BENEFICIO ECONOMICO DELLE COMPAGNIE AEREE

I litri di combustibile aereo che vengono risparmiati durante la procedura di taxi-out con l'introduzione del mezzo Taxibot all'interno dell'Aeroporto Guglielmo Marconi di Bologna sono 2.631.283. Conoscendo il numero di movimenti per compagnia aerea in riferimento all'anno 2013 è possibile stimare i litri di cherosene che ognuna delle compagnie avrebbe risparmiato.

COMPAGNIA AEREA	NUMERO DI MOVIMENTI	%	LITRI RISPARMIATI
RYANAIR	7230,5	23,6%	620.926
LUFTHANSA	3273,5	10,7%	281.115
AIR FRANCE	2050,5	6,7%	176.089
ALITALIA	1846,5	6,0%	158.570
MERIDIANA	1805,5	5,9%	155.049
AUSTRIAN AIRLINES	1156	3,8%	99.273
BRITISH AIRWAYS	1076,5	3,5%	92.445
KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	1069	3,5%	91.801
AIR NOSTRUM	936	3,1%	80.380
TNT	916	3,0%	78.662
TURKISH AIRLINES	731	2,4%	62.775
	679	2,2%	58.310

EASYJET AIRLINES			
SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	584	1,9%	50.152
WIZZ AIR	555	1,8%	47.661
EUROPEAN AIR TRANSPORT	515	1,7%	44.226
BRUSSELS AIRLINES	504	1,6%	43.281
ROYAL AIR MAROC	489	1,6%	41.993
AIR PORTUGAL (TAP)	470	1,5%	40.362
NEOS	445,5	1,5%	38.258
GERMAN WINGS	366	1,2%	31.431
AEROFLOT	365	1,2%	31.345
BELLE AIR	324	1,1%	27.824
BLUE AIR	300	1,0%	25.763
VUELING	278	0,9%	23.874
HOP	265	0,9%	22.757
BUSINESSWINGS	245	0,8%	21.040
STAR AIR	232	0,8%	19.923
PEGASUS AIRLINES	231	0,8%	19.837
AIR ARABIA MAROC	203	0,7%	17.433
AIR ITALY	158	0,5%	13.568
AIR MOLDOVA	145	0,5%	12.452
TRANSAVIA AIRLINES	134	0,4%	11.507
BLUE PANORAMA	134	0,4%	11.507
Altri	1062	3,5%	79.693
TOTALE			2.631.283

Tab 30. Litri di combustibile risparmiati per compagnia aerea, anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

L'International Air Transport Association fornisce sul proprio sito web i prezzi del combustibile per aerei a reazione aggiornati mensilmente. Prendendo come riferimento il costo del combustibile nel febbraio 2015, pari a 185cts/gal (US cents per gallon) corrispondente a 0,50 \$ per litro, possiamo stimare il risparmio in termini economici che ogni compagnia aerea avrebbe con l'introduzione del mezzo Taxibot presso l'infrastruttura aeroportuale di Bologna.

CURRENT PRICE OF AVIATION JET FUEL

13 Feb 2015	Share in World Index	cts/gal	\$/bbl	\$/mt	Index Value 2000=100	vs. 1 week ago	vs. 1 month ago	vs. 1 yr ago
Jet Fuel Price	100%	184.9	77.6	612.0	212.3	5.0%	22.8%	-38.0%
Asia & Oceania	22%	181.1	76.1	600.9	217.3	4.2%	24.7%	-38.0%
Europe & CIS	28%	187.7	78.9	621.4	212.5	4.6%	22.3%	-36.5%
Middle East & Africa	7%	178.5	75.0	591.5	223.9	4.7%	26.2%	-38.0%
North America	39%	185.5	77.9	614.8	207.2	5.9%	21.8%	-38.9%
Latin & Central America	4%	190.1	79.8	614.8	221.2	4.0%	21.1%	-39.9%

Tab 31. Prezzo corrente del combustibile *Jet A-1* (IATA 2015).

COMPAGNIA AEREA	\$ RISPARMIATI
RYANAIR	310.463
LUFTHANSA	140.558
AIR FRANCE	88.044
ALITALIA	79.285
MERIDIANA	77.525
AUSTRIAN AIRLINES	49.636
BRITISH AIRWAYS	46.223
KLM ROYAL DUTCH AIRLINES	45.901
AIR NOSTRUM	40.190

TNT	39.331
TURKISH AIRLINES	31.388
EASYJET AIRLINES	29.155
SAS SCANDINAVIAN AIRLINES	25.076
WIZZ AIR	23.831
EUROPEAN AIR TRANSPORT	22.113
BRUSSELS AIRLINES	21.641
ROYAL AIR MAROC	20.997
AIR PORTUGAL (TAP)	20.181
NEOS	19.129
GERMAN WINGS	15.715
AEROFLOT	15.672
BELLE AIR	13.912
BLUE AIR	12.881
VUELING	11.937
HOP	11.379
BUSINESSWINGS	10.520
STAR AIR	9.962
PEGASUS AIRLINES	9.919
AIR ARABIA MAROC	8.716
AIR ITALY	6.784
AIR MOLDOVA	6.226
TRANSAVIA AIRLINES	5.754
BLUE PANORAMA	5.754
TOTALE	1.315.642

Tab 32. Dollari di combustibile risparmiati per compagnia aerea, anno 2013, Aeroporto Guglielmo Marconi.

In conclusione è evidente come il beneficio in termini ambientali sia strettamente correlato a quello economico. L'ipotesi che successivamente andrebbe valutata attraverso una più completa analisi economica, riguarda l'acquisto di un numero sufficiente di mezzi da parte della società di gestione aeroportuale e la cessione temporanea, sotto il pagamento di una quota per utilizzo, alle compagnie aeree.

L'introduzione dell'innovativo mezzo Taxibot per dispatch towing porterebbe come efficacemente dimostrato ad una netta diminuzione delle emissioni prodotte annualmente dall'infrastruttura aeroportuale di Bologna e si attesta come una delle migliori strategie che attivamente contribuiscono alla riduzione dell'impatto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

Libri di Testo e Articoli Scientifici

ACI Airports Council International, 2009. Guidance Manual: Airport Greenhouse Gas Emissions Management.

Angel G.M., 2006. Airport management:taxi planning. *Ann. Oper. Res.* 143, 191-202.

Deonandan I., Balakrishnan H., 2013. Evaluation of Strategies for Reducing Taxi-out Emissions at Airports. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Envisa,2014. EGTS Environmental Benefits.Paris.

Airbus Technical Magazine, 2012. Fast, Flight Airworthiness Support Technology.51.

European Commisisions, 2013.The EU Emissions Trading System (EU ETS). <http://ec.europa.eu>.

Forster, P., V. Ramaswamy, et al, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In: Climate Change 2007:The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Gordon Woodmansey, B., Patterson, J.G., 1994. New Methodology for Modeling Annual-Aircraft Emission at Airports. *Journal of Transport Engineering*, Vol 120, N°3.

Gossling,S.,Upham,P., 2009. Climate Change and Aviation, Issues, Challenges and Solutions.Earthscan.

Hospodka,J., 2014. Cost-benefit analysis of electric taxi systems for aircraft. *Journal of Air Transport Management*.39,81-88.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The Physical.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013Summary for Policymakers. Cambridge, Regno Unito e New York, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1999. Aviation and the Global Atmosphere - Summary for Policymakers, Cambridge: Cambridge University Press.

Internation Civil Aviation Organization (ICAO), 2013. ICAO Environmental Report 2013 - Aviation and the Climate Change.

Kim,B., et al., 2009.ACRP Report 11. Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories. Washington, D.C.

Kim, B.,Rachami,J., 2008. Aircraft Emissions Modeling Under Low Power Conditions. Wyle Laboratories.

- Mazaheri,M., et al.**, 2008. Particle and Gaseous Emissions from Commercial Aircraft at Each Stage of the Landing and Takeoff Cycle. *International Laboratory for Air Quality and Health, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.*
- Mantecchini,L.,Postorino,M.N.,**2014. A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions. *Journal of Air Transport Management.* 37,76-86.
- Nikoleris,T., et al.**, 2011. Detailed estimation of fuel consumption and emissions during aircraft operations at Dallas/Fort Worth International Airport. *Transportation Research Part D.*16,302-308.
- Re,F.,** 2013. An Object-oriented Model for Development and Assessment of Green Taxiing Systems. DLR German Aerospace Center,Germany.
- Re,F.,** 2012. Viability and state of the Art of Environmentally Friendly Aircraft Taxiing System. DLR German Aerospace Center,Germany.
- SAB (Società Aeroporto di Bologna S.p.A.),** 2012. Regolamento di scalo.Bologna.
- Janic',M.,** 2011. Greening Airports Advanced Technology and Operations. Springer.
- SAB (Società Aeroporto di Bologna S.p.A.),** 2011. Masterplan Aeroportuale 2009-2023 – Studio di Impatto Ambientale.Bologna.
- SAB (Società Aeroporto di Bologna S.p.A.),** 2012. Bilancio di sostenibilità 2012. Bologna
- Travis,M.N.,** 2014. Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports. San Francisco University.
- United Nation (UN),** “Kyoto Protocol to the United Nations framework Convention on Climate Change”, 1998.
- Van Essen, H., Van Grinsven,A.,** 2012. *Interaction of GHG policy for transport with congestion and accessibility policies.* Task 11 ad-hoc paper 1 produced as part of a contract between European Commission Directorate-General Climate Action and AEA Technology plc.
- Zhang,Y., et al,** 2014. Environmental Impact Analysis of Different Aircraft Ground Propulsion System at Airport. TRB 2014 Annual Meeting.

Siti Web

Aeroporto Guglielmo Marconi

<http://www.bologna-airport.it>

Airbus

<http://www.airbus.com/innovation/eco-efficiency/operations/alternative-fuels/>

AINonline, Articolo.

<http://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2014-02-11/whe>

Cleansky, Articolo.

<http://www.cleansky.eu/content/interview/taxibot-clean-sky-dispatch-towing-vehicle-dtv>

dAIR Project

<http://www.dairproject.eu/>

Flightglobal, Aviation connected, Articolo.

<http://www.flightglobal.com/news/articles/kalmar-launches-electric-widebody-tug-with-lht-deal-391539/>

Flightglobal, Aviation connected, Articolo.

<http://www.flightglobal.com/news/articles/air-france-to-study-use-of-taxibot-with-widebodies-404556/>

Greenair, Articolo.

<http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=1774><http://www.iai.co.il/>

IATA

<http://www.iata.org/publications/economics/fuel-monitor/Pages/price-analysis.aspx>

Icao

<http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

Israel Aerospace Industries.

<http://www.iai.co.il/>

Lufthansa Technik.

<http://www.lufthansa-technik.com/emobility>

Lufthansa Leos.

<http://www.lufthansa-leos.com>

Regione Emilia Romagna, Articolo.

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/notizie/2014/gennaio/guglielmo-marconi-verso-un-aeroporto-a-impatto-zero>

Taxibot International

<http://www.taxibot-international.com/>

Treehugger, Articolo.

<http://www.treehugger.com/aviation/taxibot-reduces-airplane-emissions-and-noise-pollution.html>

The Economist, Articolo.

<http://www.economist.com/node/21562895>

Immagini Web

http://eosps.nasa.gov/eos_observ/pdf/Nov-Dec06.pdf

<http://www.giornalettismo.com/wp-content/uploads/2013/11/effetto-serra-come-funziona.jpg>

http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/contribution-of-the-transport-sector-1#tab-chart_1_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%7D%3B%22sortFilter%22%3A%5B%22pollutant_name%22%5D%7D

<http://www.eutransportghg2050.eu/cms/the-contribution-of-transport-to-ghg-emissions/>

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2013/10/the-evolution-of-radiative-forcing-bar-charts/>

<http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Trend/>

http://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/files/assets/common/downloads/ICAO_2013_Environmental_Report.pdf

http://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/files/assets/common/downloads/ICAO_2013_Environmental_Report.pdf

http://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/files/assets/common/downloads/ICAO_2013_Environmental_Report.pdf

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/105.htm>

Fotografie

Ettore Gualandi

Arliners.net. Fabrizio Berni, Yochai Mossi