

METODI PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI TRACCIATI STRADALI IN RELAZIONE ALLE EMISSIONI INQUINANTI IN ATMOSFERA

Ing. Paolo Discetti

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti-Università degli Studi di Napoli-via Claudio, 21-80100(NA)

e-mail discetti@unina.it

Ing. Renato Lamberti

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti-Università degli Studi di Napoli-via Claudio, 21-80100(NA)

e-mail rlambert@unina.it

L'LCA è una metodologia rivolta all'analisi del ciclo di vita di un prodotto, dall'estrazione al trattamento, fino all'utilizzo ed eventuale riciclaggio. Disciplinata dalla norma ISO serie 14000 (International Organization for Standardization) la tecnica risulta articolata in quattro steps: definition of the goal and scope; life-cycle inventory analysis; life-cycle impact assessment, and life-cycle interpretation.

Applicata alla scelta del tracciato ed in particolare alla valutazione dei bilanci di massa legati alla produzione dei materiali e alla realizzazione dei diversi ambiti funzionali costituenti un'infrastruttura stradale (rilevato, trincea, viadotto e galleria) consente di individuare, in ragione della severità delle emissioni generate, la migliore soluzione tecnico-progettuale. Le potenzialità del metodo, ovvero la sua applicabilità alle problematiche di impatto ambientale legate alla scelta del tracciato nondimeno all'ottimizzazione dei processi costruttivi, sono descritte nel presente lavoro evidenziandone l'utilità nel confronto delle differenti strategie da applicare nelle costruzioni viarie al fine di minimizzare l'impatto ambientale.

Life cycle assessment, emissions and environmental impact

LIFE CYCLE ASSESSMENT

Il Life Cycle Assessment (L.C.A.) è una tecnica di analisi che consente di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, mediante l'identificazione e la quantificazione dei bilanci di massa legati ai materiali, all'energia ed all'emissioni inquinanti prodotte nell'ambiente durante il processo costruttivo prima e di gestione poi. Applicata all'intero ciclo di vita di un prodotto: dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e messa in opera ed eventuale riciclaggio, consente di valutare con l'ausilio di diversi approcci metodologici, la severità degli impatti generati dalla realizzazione di una nuova infrastruttura e conseguentemente le varianti tecniche da applicare al fine di mitigarne gli effetti. In questa ottica l'LCA deve intendersi non solo come una metodologia di analisi rivolta alla sola salvaguardia dell'ambiente, ma anche come un utile strumento di confronto per il rafforzamento delle dinamiche competitive di riduzione e di controllo dei costi di un processo costruttivo. Risulta evidente, come il concetto di valutazione alla base del metodo, sia strettamente connesso a quello del confronto inteso come strumento per la comparazione completa tra due o più prodotti, mediante la quale rivelare le criticità riscontrate e promuovere processi ecologici di migliore qualità ambientali.

La tecnica, disciplinata dalle norme ISO (International Organization for Standardization) ed articolata nei seguenti steps:

- Principles and framework (ISO 14040), [1]
- Goal and scope definition and inventory analysis (ISO 14041), [2]
- Life cycle impact assessment (ISO 14042), [3]
- Life cycle impact interpretation (ISO 14043), [4]

è rivolta all'intero ciclo di vita di un prodotto, attraverso l'analisi delle diverse fasi costituenti il processo realizzativo prima e manutentivo poi, prestandosi a molteplici applicazioni quali:

- alla valutazione dell'impatto ambientale di prodotti differenti aventi la stessa funzione all'interno del ciclo produttivo e di esercizio;
- all'identificazione dei momenti più sensibili dal punto di vista ambientale del ciclo produttivo. Individuando all'interno di essi, i principali accorgimenti da applicare al fine di mitigare o eliminare tali criticità;
- al sostegno della progettazione di nuovi prodotti sulla base delle criticità riscontrate in processi produttivi similari;
- alla definizione di strategie di sviluppo produttivo;
- alla definizione di un ridotto impatto ambientale ai fini dell'attribuzione del marchio ecologico comunitario (Ecolabel);
- all'ottenimento, dove possibile, di un risparmio energetico;
- al sostegno degli investimenti per i procedimenti di disinquinamento;
- al supporto nella scelta delle soluzioni più efficaci per il trattamento dei rifiuti e dei materiali di risulta.

La prima fase della metodologia di carattere generale, definisce le ipotesi di base introducendo gli ulteriori steps sinteticamente descritti:

Goal and scope

Tale fase definita all'inizio della procedura, rappresenta l'obiettivo dell'applicazione, fondamentali risultano quindi le motivazioni generali e l'audience a cui è destinato.

Nella fase di "Scope" devono essere considerati:

- Le funzioni del sistema di studio o il sistema stesso nel caso di una comparazione;
- L'unità funzionale;
- Il processo/prodotto oggetto di studio;
- I confini del sistema di studio;
- La scelta (tipi e metodologie) degli impatti ambientali da includere nello studio;

Lo Scope si compone di :

- Funzioni del sistema: un sistema può avere diverse funzioni è necessario quindi selezionare, le più significative del processo realizzativo ovvero, quelle facilmente interpretabili in relazione alla definizione dell'obiettivo principale;
- Unità Funzionale: misura delle performance del sistema a cui ricondurre l'intero processo. Sostanzialmente rappresenta l'unità alla quale tutti i flussi (input ed output) sono relazionati;
- Confini del sistema: rappresentano le unità di processo inserite nell' LCA, esse sono funzione, dell'obiettivo principale, delle assunzioni base, dei dati disponibili, costi e audience. Fondamentale è la modellazione del sistema in modo che gli input e gli output al confine del sistema siano flussi elementari di cui sia possibile definire le caratteristiche;
- Qualità dei dati: rappresenta la garanzia per il raggiungimento del goal, influenzando in modo determinate lo sviluppo dell' LCA.

Life Cycle Inventory(LCI)

Il LCI seconda fase di uno studio LCA consiste, nella raccolta dei dati e delle procedure di calcolo necessarie al raggiungimento del goal del Life Cycle Assessment. Esso è riferito agli input e gli output rilevanti del sistema quali: il consumo di risorse (materie prime, energia, etc) e le emissioni in acqua, in aria e nel suolo associate al ciclo produttivo. I dati ottenuti in questa fase costituiscono le basi per la quantificazione degli impatti ambientali che, processati in modo iterativo definiscono le informazioni necessarie per la completa analisi del sistema, convergendo solo quando risulta soddisfatto l'obiettivo principale (Goal).

Alcuni importanti aspetti del LCI sono:

- Le procedure di allocazione: necessarie qualora si operi con sistemi con prodotti multipli. I materiali ed i flussi di energia così come le emissioni nell'ambiente devono essere riferiti ai diversi prodotti del processo, in accordo a criteri definiti nella fase di scope.
- Il calcolo dei flussi di energia: differenza tra combustibili fossili ed energia elettrica, termica etc.

Life cycle impact assessment(LCIA) and interpretation (LCII)

La fase LCIA è dedicata alla valutazione della significatività degli impatti ambientali sulla base dei risultati del LCI. Il livello di indagine, così come le scelte degli

impatti da quantificare, è direttamente correlato alla fase di goal e scope ovvero, alla disponibilità di data base dedicati e rivolti essenzialmente all'analisi delle emissioni e dei processi produttivi. In particolare mentre nell'inventario sono raccolte le diverse informazioni sugli scambi che il prodotto ha con l'ambiente attraverso i vari processi interni al sistema (essi includono sia il consumo e l'emissione della sostanza da e verso l'ambiente sia le interazioni tra i processi), nel Life Cycle Impact Assessment, vengono valutate le informazioni inventariate rispetto ad un orizzonte temporale di riferimento al fine di:

- identificare i processi ambientalmente significativi nel sistema del prodotto, nel rispetto dell'obiettivo generale (Goal);
- valutare i potenziali impatti ambientali direttamente o indirettamente correlati agli input ed output precedentemente definiti;
- proporre un modello per il sistema di prodotto sulla base dei riferimenti selezionati, includendo i processi più significativi ovvero, escludendone altri;
- distribuire ed ottimizzare gli scambi ambientali presenti nel sistema al fine di ridurre gli effetti e la relativa severità.

La fase interpretativa infine è rivolta alle sole quantità dei dati di input e di output significative riportate in tabella n.1

Input/Output	Impatti Ambientali	Scala spaziale degli effetti
Input	Consumo di risorse abiotiche, e.g. energia derivante da combustibili, produzione di elettricità, minerali, materie prime, etc.	Globale
	Consumo di risorse biotiche, e.g. alberi (legno), pescato, etc.	Globale, regionale
	Richiesta di superficie, competizione con altre attività, cambiamento della destinazione d'uso	Regionale, Locale.
Output	Variazioni della qualità dell'aria, e.g. emissioni di composti gassosi ad effetto serra.	Globale
	Riduzione dello strato di ozono	Globale
	Tossicità per l'uomo	Regionale, Locale.
	Eco-tossicità, e.g. emissioni di composti tossici verso i diversi comparti ambientali (aria, acqua, suoli e sedimenti).	Regionale, Locale.
	Acidificazione	Regionale
	Eutrofizzazione, i.e. arricchimento di nutrienti nei corpi idrici ricettori con alterazioni della sua qualità	Regionale, Locale.
	Rumore	Locale.
Produzione di calore	Locale.	

Tabella 1 – Impatti ambientali dell'LCA

La fase di valutazione di carattere qualitativo e quantitativo, è sicuramente tra le più importanti dell'intero studio, rivolta a tutte le unità del processo inserite nei confini del sistema, ha il compito di stimare gli impatti generati sui diversi ecosistemi.

Nel presente lavoro sono stati utilizzati due metodi:

- L'Eco indicator 99;
- L'EPS 2000;

Entrambi i metodi, sulla base dell'inventario delle emissioni e dei consumi di risorse da attribuire al prodotto nel suo intero ciclo di vita; stimano gli impatti suddivisi per categorie di danno calcolandone una prestazione globale. In particolare essi valutano in funzione delle diverse categorie di danno considerate:

- L'esaurimento delle risorse;
- Lo sfruttamento del territorio;
- l'interazione fra prodotto e ambiente nell'intero ciclo di vita del prodotto;
- Gli effetti dei danni sui diversi equilibri ambientali.

L'Eco-indicator è una metodologia sviluppata dalla Pré (Product Ecology Consultants) per conto del Ministero dell'Ambiente olandese: essa costituisce un potente strumento in quanto aggrega i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati Eco-indicatori o Ecopunti.

Lo schema principale del metodo considera tre tipologie di danno ambientale:

- Human Health (Salute Umana):rappresentativa dell'idea che tutti gli esseri umani, nel presente o nel futuro, saranno esenti da malattie, invalidità o morti premature causate dall'ambiente circostante.
- Ecosystem Quality (Qualità dell'ecosistema): rappresentativa buona qualità dell'ecosistema (Ecosystem Quality) implica che le specie animali e vegetali interessate non soffrano di cambiamenti indotti che alterino la loro popolazione e distribuzione geografica;
- Resources (Sfruttamento delle Risorse) rappresentativa del reperimento di risorse (Resources), sostanze essenziali per lo sviluppo della nostra società possa essere o meno disponibile anche per le generazioni future

Il metodo EPS 2000 (Ecology Product Situability) computa invece, quattro categorie di danno (damage category):

- Human Health (salute umana);
- Ecosystem Production Capacity (capacità di produzione dell'ecosistema);
- Abiotic Stock Resource (risorse abiotiche);
- Biodiversity (biodiversità).

Ogni categoria di danno è poi articolata in una o più categorie d'impatto (impact category), ciascuna univocamente determinata da una propria unità di misura, così come riportato in tabella n.1.

Danno	Categorie di Impatto
Human Health	Life expectancy , espressa in person year (o YOLL-years of lost life cioè anni di vita persi); Severe morbidity and suffering (come l'inedia), espressa in person years; Morbidity (come un raffreddore o un'influenza), espressa in person year; Severe Nuisance (che normalmente induce una reazione in modo da evitare quanto più possibile il perdurare di un disturbo), espressa in person year; Nuisance (irritante ma senza alcun effetto diretto sulla salute), espressa in person year.
Ecosystem Production Capacity	Crop Growth Capacity , espressa in kg; Wood Growth Capacity, espressa in kg;Fish and Meat Production, espressa in kg; Soil Acidification, espressa in H+ moli equevalenti; Prod. Cap. Irrigation water, espressa in kg; Prod. Cap. Drinking water, espressa in kg.
Abiotic Stock Resource	Depletion of reserves;
Biodiversity	Species Extinction.

Tabella 1 – Categorie di danno metodo EPS 2000

CASO DI STUDIO

Al fine di valutare l'efficacia del metodo, si è redatta un'applicazione stimando, in ragione delle emissioni derivanti dal processo realizzativo del solo corpo stradale, le diverse varianti di tracciato sviluppate per l'adeguamento del collegamento veloce San Vittore – Termoli. Tale infrastruttura, di collegamento tra l'Adriatico ed il Tirreno, si sviluppa per circa 135.10 Km lungo un percorso caratterizzato da diverse interferenze di carattere ambientale in corrispondenza delle quali sono state elaborate, in fase preliminare, diverse alternative di tracciato. Per ognuna di esse (tracciato base – tracciato di variante sviluppato per ogni criticità) e per le progressive di competenza, si sono individuati cinque macro ambiti funzionali: rilevato, trincea, viadotto e galleria al fine di stimare, secondo un approccio di tipo LCA, le emissioni generate dal processo costruttivo prima e, dalla relativa gestione poi della sovrastruttura stradale.

In generale, in uno studio impatto ambientale la componente costruttiva della sovrastruttura è considerata quale poco rilevante non risultando un elemento discriminante nella scelta. Tuttavia, la questione petrolifera e conseguentemente quella dei suoi derivati oggi trova ampio dibattito rivolgendo alla comunità scientifica, continui stimoli al fine di ottimizzare i processi in ragione di un minor e più accurato consumo di risorse.

Il processo costruttivo analizzato, ha riguardato la realizzazione del corpo stradale di una strada classificata secondo le norme italiane in tipologia B, mentre le analisi delle emissioni prodotte durante l'intero ciclo di vita dei diversi corpi stradali costituenti l'infrastruttura, sono state invece, rapportate alle distanze delle cave di prestito e di deposito ovvero dei centri di betonaggio per la produzione dei diversi conglomerati.

In figura n.1 è schematizzata l'impostazione metodologica della tecnica, mentre in figura n.2 è rappresentato il percorso oggetto di analisi nonché le criticità in corrispondenza delle quali sono state sviluppate le diverse alternative di tracciato.

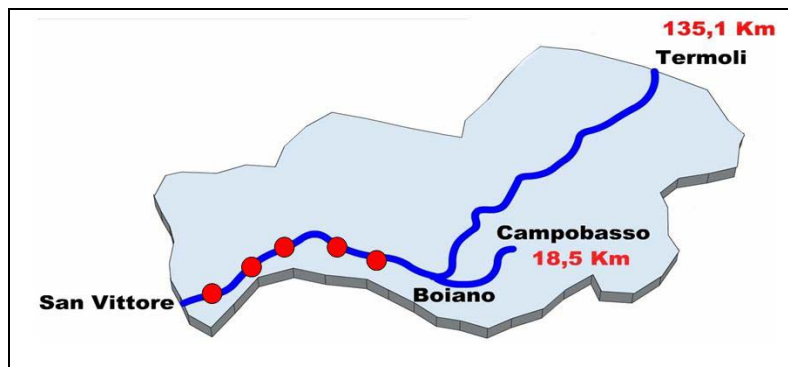


Figura 2 – Tracciato base con indicazione delle criticità

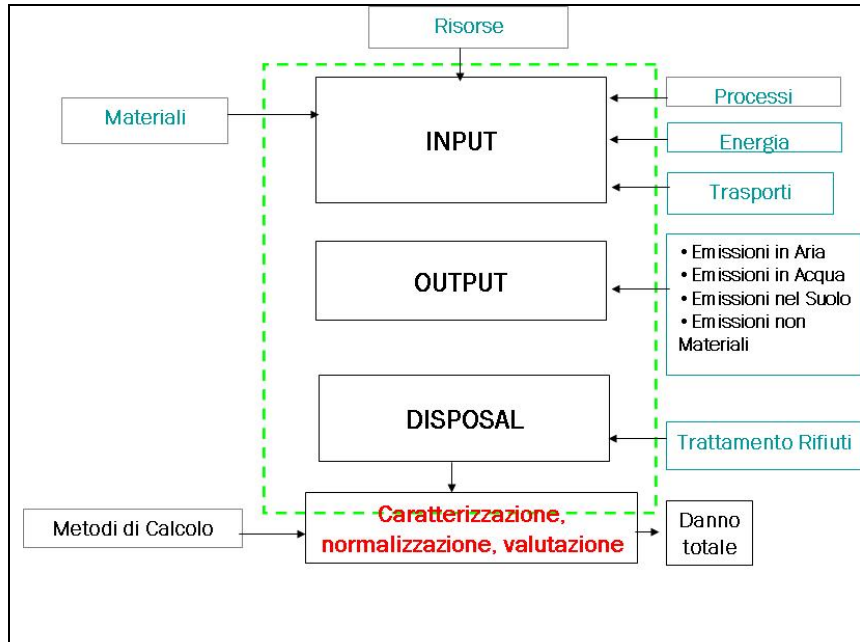


Figura 1 – Procedura LCA e confini del sistema

Come si evince, i confini del sistema sono relativi a tutti i flussi in ingresso ed in uscita che concorrono al bilancio di massa delle diverse quantità coinvolte nell'intero ciclo di vita dell'elemento considerato.

I dati in ingresso, relativi alla fase di input sono:

- **I materiali:** rappresentati essenzialmente dal conglomerato bituminoso e dal misto cementato utilizzati per la realizzazione dei diversi strati delle pavimentazioni;
- **Le risorse:** relative ai materiali terrosi necessari per la realizzazione del corpo stradale in rilevato e più precisamente ai terreni ghiaia-sabbiosi e limo-argillosi costituenti le diverse parti del manufatto stesso.
- **I processi:** rappresentati dai macchinari impiegati e dal relativo ciclo produttivo. In tale fase, si sono considerate inoltre le emissioni all'interno dell'atmosfera e i rumori conseguenti all'esercizio dei macchinari in ragione della tecnologia prescelta.
- **L'energia:** imputabile al carburante (gasolio) necessario all'esercizio delle macchine durante la fase di avviamento e di esercizio.
- **Il trasporto:** relativo al trasferimento del materiale dalle cave di prestito e di deposito, ovvero dai centri di betonaggio.

La schematizzazione del processo, prevede inoltre, la definizione degli output: stima delle emissioni prodotte nei relativi ecosistemi (aria, acqua e suolo) nonché dei rumori, ovvero l'esplicitazione della fase di eliminazione rappresentativa del deposito in discarica dei materiali al termine del ciclo di vita.

Infine, la procedura si completa, mediante l'applicazione dei metodi di valutazione Eco-indicator 99 ed Eps 2000, traducendo gli impatti in ecopunti al fine di valutare il danno totale generato dalla realizzazione dell'infrastruttura.

In tabella n.2, sono rappresentati i diversi pacchetti costituenti l'infrastruttura riferiti a ciascun ambito funzionale omogeneo oggetto di analisi, mentre in tabella n.3 sono riportati i dati di input e output del sistema nel rispetto delle seguenti assunzioni:

- l'analisi relativa ad ogni ambito funzionale omogeneo: rilevato, trincea, viadotto e galleria, è stata limitata a singole unità funzionali di lunghezza pari a 100m e larghezza pari alla semi-carreggiata stradale, considerando le caratteristiche tecnologiche e costruttive del processo realizzativo di messa in opera del corpo stradale e della relativa sovrastruttura;
- la scomposizione in ambiti funzionali, è riferita ai relativi W.B.S (Work Breakdown Structure) nondimeno alle distanze dalle cave di prestito e di deposito;
- i flussi di massa in ingresso e in uscita dal sistema di riferimento sono computati considerando sia le risorse impegnate durante i diversi cicli realizzativi, sia in funzione delle diverse caratteristiche tecniche dei macchinari.

Pavimentazione in Rilevato		Pavimentazione in Trincea	
STRATO	Spess.(cm)	STRATO	Spess. (cm)
Usura in c.b. drenante	4	Usura in c.b. drenante	4
Binder	6	Binder	6
Base	14	Base	14
Sottobase mistocementato	29	Sottobasemistocementato	29
		Fondazione in MGNL per la regolarizzazione del sottofondo	19
		eventuale bonifica del sottofondo fino ad ottenere Mr=90 N/mm2	
TOTALE	53	TOTALE	72
Pavimentazione in Viadotto		Pavimentazione in Galleria	
STRATO	Spess.(cm)	STRATO	Spess.(cm)
Usura in c.b. drenante	4	Usura in c.b. chiuso	5
Binder	6	Binder	5
		Base	10
		Sottobase misto cementato	24
TOTALE	10	TOTALE	44

Tabella 2 – Tipologie di sovrastruttura

Le emissioni di inquinanti ed i rumori prodotti, derivanti dall'esercizio delle macchine sono stati stimati sulla base del dimensionamento del parco macchine nondimeno della programmazione prevista per la realizzazione dei lavori. Nelle tabelle n.4 e 5 sono invece rappresentate le categorie di danno stimate mediante i due approcci Eco-Indicator 99 ed EPS 2000.

La valutazione del danno, provocato dalle emissioni, è funzione dell'indicatore considerato opportunamente normalizzato rispetto al valore massimo di riferimento, nondimeno della relativa importanza espressa mediante un sistema di pesi calibrati all'inizio del processo.

TRASPORTI E DISTANZE	
Distanza cava di prestito materiali terrosi 19.00 Km dalla progressiva 0.+000Km	
Distanza centro di betonaggio 200.00m dalla progressiva 0.+000Km	
Distanza cava di deposito 26.00 Km dalla progressiva 0.+000Km	
MATERIALI E RISORSE	MACCHINARI UTILIZZATI
Conglomerato bituminoso (ton)	Autocarro con cassone
Misto cementato(ton)	Buldozer gommato
Terreni ghiao sabbiosi(ton)	Buldozer cingolato
Terreni limo argillosi(ton)	Motorgrader
OUTPUT	Impianto mobile riciclaggio a freddo KMA 200
	Vibrofinitrice
	Rullo compattatore Vibrante
Composti azotati NOx; Particolato; Ossidi di zolfo SO; Anidride carbonica CO2; Monossido di Carbonio CO; Emissioni di rumore da parte di tali mezzi; Consumo di gasolio dei mezzi su citati.	

Tabella 3 – Caratteristiche del sistema

Categorie di danno	Categorie di impatto
Salute Umana (DALY disability adjusted Life years: tempo sottratto a ciascun individuo da infermità o morte prematura causate da malattie)	Sostanze cancerogene Malattie respiratorie (sost. Inorganiche) Malattie respiratorie (sost. Organiche) Cambiamenti climatici Impoverimento dello strato di ozono stratosferico Radiazioni ionizzanti
Qualità dell'Ecosistema (PDF) (potentially dissapeared fraction: frazione percentuale di specie che hanno una alta probabilità di non sopravvivere nell'area considerata, a causa di sfavorevoli condizioni di vita)	Acidificazione\eutrofizzazione Ecotossicità Uso del territorio
Sfruttamento Risorse (MJ Surplus: differenza fra l'energia necessaria all'estrazione di una risorsa attualmente e quella indispensabile in un istante futuro, espressa in Mega Joule)	Minerali Combustibili fossili

Tabella 4 – Categorie di danno e categorie di impatto (Eco-Indicator 99)

CATEGORIE DI DANNO	CATEGORIE DI IMPATTO
Salute Umana YOLL (Person Year Years of lost life - Anni di vita persa;)	Aspettativa di vita
	Malattia grave
	Malattia
	Disturbi gravi
	Disturbi
Ecosistema Capacità Produzione (Kg)	Capacità di crescita dei cereali
	Capacità di crescita del legno
	Produzione di pesce e bestiame

	Acidificazione del suolo
	Sottrazione di acqua per irrigare
	Sottrazione di acqua all'uso potabile
Disponibilità di risorse abiotiche	Esaurimento delle risorse
Biodiversità (NEX, Normalised extinction of	Estinzione delle specie

Tabella 5 – Categorie di danno e categorie di impatto (EPS 2000)

Il confronto tra i diversi valori (DALY, PDF, MJ surplus) ottenuti secondo la metodologia Eco indicator 99 ovvero, degli impatti generati sulla salute umana, sull'ecosistema, sulla capacità e produzione, sulla disponibilità di risorse abiotiche e biodiversità rapportati alla disponibilità a pagare (willingness to pay-WTP) a favore di un minimo cambiamento dell'equilibrio ambientale, propri del metodo EPS 2000 definisce una misura della compatibilità ambientale dell'infrastruttura oggetto di studio. Nella figura successiva sono rappresentati gli impatti generati, in termini di ecopunti, dalla costruzione del corpo stradale e della relativa sovrastruttura nei singoli ambiti funzionali.

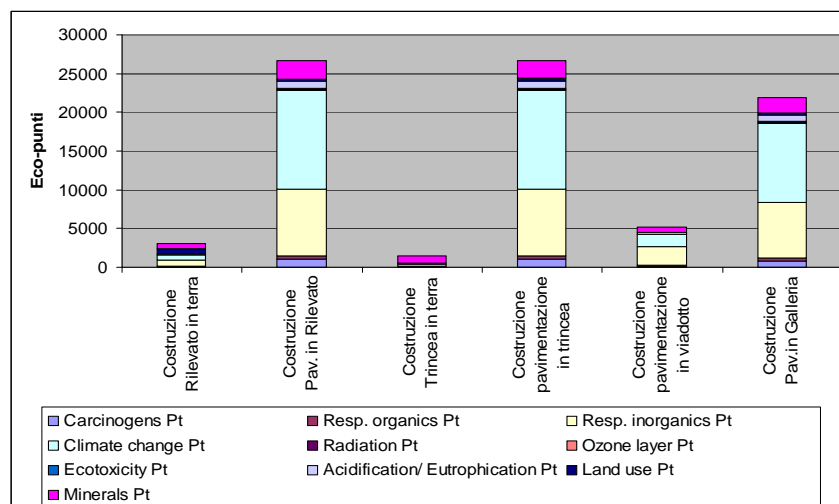


Figura 3 – Stima degli Impatti

Dall'analisi dei risultati ottenuti con il metodo Eco-indicator 99 si riscontra che i maggiori impatti in termini di eco-punti sono attribuibili a:

- Cambiamenti climatici;
- Malattie respiratorie dovute a sostanze inorganiche;
- Consumo di energia necessaria per l'approvvigionamento di risorse;
- Uso del suolo (per la sola realizzazione del rilevato in terra).

La prevalenza di tali di impatti (i primi due appartenenti alla categoria di danno Salute umana, il terzo a quella dello Sfruttamento risorse) si riscontra in tutte e quattro

gli ambiti funzionali analizzati. L'uso del suolo invece, appartenente alla categoria di danno Qualità dell'ecosistema, riguarda principalmente l'ambito funzionale rilevato in virtù dei volumi di materiali terrosi interessati dalla realizzazione. In generale tale prevalenza è attribuibile alla scala di azione delle emissioni che, viste le caratteristiche dell'opera, produce effetti in massima parte su scala locale anziché globale. Infatti, ad eccezione dei cambiamenti climatici legati essenzialmente alla produzione dei conglomerati in centrale e all'esercizio delle macchine di cantiere, le conseguenze principali possono riguardare la salute degli operai nella fase di messa in opera ed il consumo di energia indispensabile per l'estrazione delle risorse.

In valore assoluto gli impatti più alti sono quelli del rilevato e della trincea; successivamente quelli di galleria e in ultimo del viadotto; il motivo è da ricercarsi essenzialmente nel fatto che i quantitativi di materiali coinvolti sono maggiori, dunque il dispendio energetico per il reperimento e la messa in opera nonché il trasporto, con tutto quello che ne consegue, fanno maggiormente sentire la loro incidenza. Non molto significativa, invece è la distanza dei siti dalle cave di prestito e deposito ultimo del materiale né l'incidenza del riciclaggio di parte della sovrastruttura esistente ovvero, il contributo per la manutenzione di alcuni strati.

Secondo invece la metodologie EPS 2000 le principali categorie di danno interessate dalla realizzazione delle opere sono:

- Salute Umana;
- Disponibilità di risorse abiotiche.

mentre i principali impatti riscontrati si riferiscono:

- Riduzione dell'aspettativa di vita;
- Lo sviluppo di gravi malattie;
- Lo sviluppo di malattie meno gravi;
- L'esaurimento delle risorse.

Analogamente a quanto riportato precedentemente i risultati ottenuti e la relativa severità deriva dalla scala spaziale di riferimento (locale). Essi sono infatti legati alla produzione dei materiali e alla loro messa in opera, in considerazione dei disagi che ne derivano, soprattutto per gli operatori; inoltre ricopre una certa importanza il consumo di risorse, indispensabili per la realizzazione dei manufatti. Possibili provvedimenti, possono essere ricercati nell'impiego di macchine di cantiere meno inquinanti a basse emissioni (Euro 3, Euro 4); nell'utilizzo all'interno delle centrali di produzione dei conglomerati di tecnologie a basso impatto; nella maggiore prevenzione per gli operatori di settore addetti alla messa in opera dei materiali, nella ricerca di tipologie costruttive a basso impatto ed alto rendimento non ultimo, nell'ottimizzazione del movimento terra all'interno dei cantieri.

Ai fini applicativi si è quindi considerato il danno espresso dai due metodi mediante la stima delle differenti categorie di impatto, ottenendo quindi un set di informazioni da combinare in un indice sintetico, rappresentativo della prestazione ambientale complessiva del tracciato base e delle relative varianti (.Variante I "Galleria Annunziata" - Variante II "Voluturno I" - Variante IV "Macchia d'Isernia" - Variante VI "Cantalupo I" - Variante VII "Cantalupo II").

Danno/ Criticità	CRITICITÀ 1		CRITICITÀ 2		CRITICITÀ 3		CRITICITÀ 4		CRITICITÀ 5	
	TRACCIATI		TRACCIATI		TRACCIATI		TRACCIATI		TRACCIATI	
C.D'IMPATTO	BAS.1	VAR.1	BAS 2	VAR 2	BAS 4	VAR4	BASE 6	VAR6	BASE 7	VAR 7
Carcinogeni	4,7	36.	43,	20,4	45	59	53	48	38,8	24,78
Malattie respiratorie	19	16	17	7	18	21	189	17	13	10
Malattie respiratorie	437	36	40	182,	42	51	468	41	334	244,6
Cambiamenti climatici	58081	447038	53679	243.573	555.40	71801	648096	57913	467610	305,6
Radiazioni ionizzanti	0.535	0.4215	506	227	525	662	601	526	432	291
Lo strato di ozono	8.204	7.164	7.2	3.27	7.6	8.961	7.96	7.17	5.603	4,753
Ecotossicità	5,6	4,5	5,5	2,56	5,5	7,3	6,12	5,6	4,82	3,478
Acidificazione	44.858	35565,4	42520,	18993,2	44152,	55181,	50289,6	43744,	36103,1	24,12
Uso del suolo	22,39	16,58	38,62	14,0	39,849	43,4	47,4	26,547	34,356	19,41
Minerali	134,9	108,8	12,71	59,60	13,255	16,656	147	13,158	10,4931	74,5
Aspettativa di vita	4,1	3,2	3,8	1,7	3,9	5,07	4,58	4,07	3300	219
Malattia	30825	23836	28499	129313	29505	38007	342926	30622	247224	162
Disturbi gravi	26140	19913,18	24797	11949,7	25695	33966	29686,5	27035,	21375	14,61
Disturbi	10725	86740	98925,	44557	10297	12790	115334,	10225	82504,4	58,2
C. di crescita dei cereali	23264	18662	21712	9765,16	22578,	28135	25454,4	22406,	18234,1	12,15
C. di crescita del legno	-79	-60,5	-73,3	-33,6	-76,5	-98,2	-89,40	-79	-64,90	-41,3
Acidificazione del suolo	31	25,87	29,97	13,292	30,48	37,28	34,04	30,2	24,18	17,325
E. delle risorse/10^6	24	24	21	9,7	22	26	23	21	16	13
Estinzione delle specie	59,9	45,75	54,8	24,64	56,1	73	65,00	59,4	47,30	31,05

Tabella 6 – Impatti ambientali dei tracciati esaminati (Eco-Indicator 99 /EPS 2000)

La prestazione ambientale delle diverse alternative è stata ottenuta mediante una relazione lineare degli impatti(ecopunti) prodotti, così come di seguito riportato.

$$IA = (a \times R) + (b \times T) + (c \times V) + (d \times G)$$

dove:

- IA = rappresentano gli impatti ambientali totali;
- A = rappresenta i km di rilevato presenti nel tracciato (base/variante);
- b = rappresenta i km di trincea presenti nel tracciato (base/variante);
- c = rappresenta i km di viadotto presenti nel tracciato (base/variante);
- d = rappresenta i km di galleria presenti nel tracciato (base/variante);
- R = rappresenta gli impatti ambientali di un' unità funzionale in rilevato, comprendente sia il manufatto in terra, sia la pavimentazione;
- T = rappresenta gli impatti ambientali di un'unità funzionale in trincea, comprendente sia lo scavo che la pavimentazione;
- V = rappresenta gli impatti ambientali di un'unità funzionale in viadotto;
- G = rappresenta gli impatti ambientali di un' unità funzionale in galleria.

La valutazione eseguita definisce le varianti progettuali sostenibili rispetto allo scenario di riferimento, individuando quindi il miglior tracciato stradale il quale si compone dei seguenti percorsi successivi: Variante1, Variante2, Tracciato base 4, Variante.6 e Variante 7.

CONCLUSIONI

L' LCA è una metodologia rivolta all'analisi del ciclo di vita di un prodotto, dall'estrazione al trattamento, fino all'utilizzo ed eventuale riciclaggio. L'applicabilità del metodo è senza dubbio rilevante nelle problematiche di carattere industriale e produttivo, poiché individua le fasi critiche per emissioni e concentrazioni di inquinanti da sottoporre a valutazione e controllo. Applicata in successione alla scelta del tracciato ed in particolare alla valutazione dei bilanci di massa legati alla produzione e realizzazione dei diversi ambiti funzionali costituenti l'infrastruttura stradale; consente di individuare in ragione degli impatti la migliore soluzione tecnica progettuale. In generale, le informazioni trattate attraverso uno studio di LCA dovrebbero essere utilizzate come parte di un processo decisionale molto più completo, al fine di comprendere gli scambi ambientali generati sia a livello globale che zonale.

Il metodo risulta tanto più attendibile quanto più è ricca la banca dati delle sostanze rilasciate nell'ambiente dai vari processi industriali necessari per la realizzazione del prodotto oggetto di studio. Inoltre, poiché la valutazione dei risultati dell'LCA dipende sia dalla scelta dei metodi utilizzati per la valutazione delle sostanze emesse nell'ambiente, sia dalla scelta attuata per ridurre il livello di sostanze inquinanti in un tempo determinato, si comprende come queste due assunzioni siano delicate e complesse. Esse infatti, coinvolgono molteplici aspetti tecnici, sociali, economici ed ambientali, il cui equilibrio è fondamentale per l'assunzione di decisione a ciascun livello.

Bibliografia

1. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework., ISO 14040:1997;
2. Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis., ISO 14041:1998;
3. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment., ISO 14042:2000;
4. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact interpretation., ISO 14043:2000;
5. EURPROG Report - final version, 26th Edition (1998), Unipede/Eurelectric, Brussels;
6. K.Keiseras Bakkane (1994), "Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas", Novatech a.s., Tapir Publisher);
7. Stripple Hakan, Livscykelanalys av väg – En modellstudie for inventering (Life Cycle of a road), IVL-report B-1210, (1995).