



Ricerca di Sistema elettrico

Modelli di LCA per sostenibilità energetica e ambientale di coperture e/o pareti verdi di edifici

Carlo Bibbiani, Fabio Fantozzi, Caterina Gargari

MODELLI DI LCA PER SOSTENIBILITÀ ENERGETICA E AMBIENTALE DI COPERTURE E/O PARETI VERDI DI EDIFICI

Carlo Bibbiani (DSV, Università di Pisa), Fabio Fantozzi (DESTEC, Università di Pisa), Caterina Gargari (Collaborazione esterna Università di Pisa)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico


Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: Tecnologie "green" per gli edifici

Responsabile del Progetto: Ing. Giovanni Puglisi, ENEA 

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Modelli di LCA per sostenibilità energetica e ambientale"

Responsabile scientifico ENEA: Dott. Carlo Alberto Campiotti.

Responsabile scientifico Università di Pisa: Dott. Ing. Carlo Bibbiani

Indice

SOMMARIO.....	6
1 INTRODUZIONE.....	7
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI – SISTEMI DI COPERTURA A VERDE.....	8
2.1 OBIETTIVI.....	8
2.2 CONFINI DEL SISTEMA.....	9
- <i>A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie pirme seconde o dei flussi secondari in ingresso</i>	9
- <i>A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione</i>	9
- <i>A3, processo di produzione</i>	9
2.3 VITA UTILE DI RIFERIMENTO (RSL).....	9
2.4 SCENARIO LCA E INFORMAZIONI TECNICHE ADDIZIONALI.....	9
2.5 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO A.....	9
2.5.1 <i>Unità dichiarata</i>	10
2.5.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	10
2.5.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	15
2.5.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	15
2.6 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO B.....	15
2.6.1 <i>Unità dichiarata</i>	16
2.6.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	16
2.6.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	22
2.6.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	22
2.7 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO C.....	22
2.7.1 <i>Unità dichiarata</i>	23
2.7.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	23
2.7.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	29
2.7.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	29
2.8 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO D.....	29
2.8.1 <i>Unità dichiarata</i>	30
2.8.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	31
2.8.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	37
2.8.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	37
2.9 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO F.....	37
2.9.1 <i>Unità dichiarata</i>	37
2.9.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	38
2.9.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	44
2.9.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	44
2.10 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO G.....	44
2.10.1 <i>Unità dichiarata</i>	45
2.10.2 <i>Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse</i>	45
2.10.3 <i>Parametri descrittivi delle emissioni in aria</i>	51
2.10.4 <i>Interpretazione dei risultati</i>	51
2.11 ANALISI DEI MEDIUM A CONFRONTO.....	51
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI – SISTEMI DI PARETE VERDE.....	55
3.1 OBIETTIVI.....	55
3.2 CONFINI DEL SISTEMA.....	55
- <i>A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie pirme seconde o dei flussi secondari in ingresso</i>	55

-	<i>A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione</i>	55
-	<i>A3, processo di produzione</i>	56
3.3	VITA UTILE DI RIFERIMENTO (RSL)	56
3.4	UNITÀ DICHIARATA	56
3.5	PARAMETRI DESCRITTIVI DELL'IMPATTO AMBIENTALE E DELL'USO DI RISORSE	56
3.6	PARAMETRI DESCRITTIVI DELLE EMISSIONI IN ARIA	64
3.7	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	64
4	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI – IMPIANTO DI SOLAR COOLING	65
4.1	OBIETTIVI	65
4.2	CONFINI DEL SISTEMA	65
-	<i>A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie prime seconde o dei flussi secondari in ingresso</i>	65
-	<i>A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione</i>	65
-	<i>A3, processo di produzione</i>	65
4.3	VITA UTILE DI RIFERIMENTO (RSL)	65
4.4	UNITÀ DICHIARATA	66
4.5	PARAMETRI DESCRITTIVI DELL'IMPATTO AMBIENTALE E DELL'USO DI RISORSE	66
4.6	PARAMETRI DESCRITTIVI DELLE EMISSIONI IN ARIA	73
4.7	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	73
5	CONCLUSIONI.....	74
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	75
7	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	76
8	CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO IMPEGNATO NELL'ATTIVITÀ	76

Sommario

Nel presente Report è stata condotta una Life Cycle Assessment (LCA) applicata a 6 tipologie di copertura a verde relativa alle tipologie 'Tetto verde estensivo' e 'Tetto verde intensivo', secondo l'approccio modulare così come definito dalla norma europea UNI EN 15804. Inoltre, è stata condotta una LCA sulla 'Parete verde' attualmente in corso di realizzazione presso la sede ENEA a La Casaccia. Infine, è stata condotta una LCA sull'impianto di Solar Cooling, del tipo a ciclo chiuso ad Acqua-Bromuro di Litio a singolo effetto, realizzato presso il Centro Sperimentale Martucci dell'Università di Bari.

L'analisi degli impatti nel ciclo di vita ha considerato i flussi in ingresso e uscita dal sistema relativamente alla sola fase di produzione A dei materiali ed in particolare alle fasi: A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie prime seconde o dei flussi secondari in ingresso; A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione; A3, processo di produzione.

La LCA è stata calcolata tramite il software GaBi™ che è un programma modulare, standardizzato secondo le norme della serie ISO 14040, che consente di creare bilanci di ciclo di vita di prodotti e servizi e di analizzare e interpretare i risultati. Esso è strutturato in modo tale da consentire l'elaborazione dei dati considerando sia i flussi ed i processi che i diagrammi di flusso denominati "plan". I Database GaBi™, creati dalla azienda 'Thinkstep', rappresentano sul mercato i database LCA più accurati e contengono oltre 10000 profili di inventario del Ciclo di Vita basati su dati industriali primari.

Per tutte le tipologie di copertura a verde analizzate, sono stati definiti cinque scenari di analisi, al variare dei livelli diversi di isolamento termico, con l'obiettivo di valutare l'incidenza della prestazione termica sulla prestazione ambientale.

Inoltre, sono stati analizzati 7 differenti substrati vegetativi, ovvero medium, utilizzati nelle diverse configurazioni, elaborati a partire da mix disponibili attualmente sul mercato europeo. In linea generale, le 'categorie di danno' che maggiormente concorrono a determinare l'impatto ambientale del medium sono l'Esaurimento delle risorse abiotiche fossili ADP_f, il Potenziale di Riscaldamento Globale GWP, e il Potenziale di Acidificazione AP. L'analisi degli elementi che, in ogni diversa composizione, contribuiscono ad innalzare il valore di questi indicatori in maniera significativa, è particolarmente importante in fase progettuale per la corretta composizione del mix atta a soddisfare sia le prestazioni specifiche che la minimizzazione dell'impatto ambientale.

Per quanto riguarda la 'Parete verde', le categorie di impatto, sono dominate dalla produzione della struttura portante e degli elementi scatolari in acciaio zincato e delle griglie pedonali. I vasi in plastica per la piantumazione delle essenze a verde, realizzati con resine termoplastiche, incidono in maniera determinante sulla categoria Esaurimento delle Risorse Abiotiche – fossili ADP_f e sul consumo di energia da fonti non rinnovabili.

Infine, per l'impianto di Solar Cooling le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂, sono dominate dalla produzione del subimpianto solare con tubi evacuati, e dagli impatti legati alla realizzazione dei serbatoi di accumulo per irrigazione e delle pompe di circolazione del subimpianto frigorifero.

1 Introduzione

I tetti e le pareti verdi sono considerati come una soluzione a molti problemi urbani, tra cui la mitigazione del fenomeno dell'isola di calore urbana, la attenuazione del rumore, la riduzione dell'inquinamento atmosferico, la gestione delle acque piovane, qualità dell'aria e dell'acqua e il sostegno della biodiversità [1,2]. Essi sono spesso affrontati come la migliore scelta costruttiva per aumentare la sostenibilità ambientale in un ambiente urbano. Una recente iniziativa a livello europeo [3] ha promosso anche un vantaggio economico per quegli edifici coperti da un tetto verde, nell'ottica della riduzione dell'impatto dell'uso del suolo. Comunque, la riduzione dei consumi energetici e la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili nel settore edile sono misure importanti per il raggiungimento degli obiettivi della politica energetico – ambientale dell'Unione Europea di riduzione della dipendenza energetica e delle emissioni di gas a effetto serra.

Inoltre, considerando che la Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) [4] sulla prestazione energetica nell'edilizia spinge verso "Edifici a Energia Netta Zero" (Net Zero Energy Building – Net ZEB), in un prossimo futuro i materiali da costruzione saranno la causa principale del consumo energetico e di risorse negli edifici. Infatti, la Direttiva 2010/31/UE stabilisce che entro il 1° gennaio 2021 tutti gli edifici di nuova costruzione, pubblici e privati, dovranno essere edifici a Energia Netta Quasi Zero (Nearly Net ZEB). Nei Net ZEB e in generale negli edifici a basso consumo energetico, a fronte di una marcata riduzione dei consumi nella fase operativa, si assiste ad una crescita dell'Energia Incorporata di materiali e tecnologie impiegati nel sistema edificio - impianto [5]. Di conseguenza, assume una rilevante importanza la valutazione delle prestazioni energetico – ambientali degli edifici tramite bilanci energetici che comprendano tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio stesso, e non si limitino alla sola fase d'uso. Pertanto, più che il consumo di energia durante l'uso, l'impatto ambientale dei materiali da costruzione diventa una prestazione urgente da valutare in prospettiva del ciclo di vita. L'impatto ambientale dovuto al consumo di energia durante la fase di utilizzo dell'edificio è stato drasticamente ridotto negli ultimi 10 anni, rispetto ai dati di Saiz [6]. L'energia consumata da un edificio nel corso del suo ciclo di vita può essere suddivisa in energia consumata durante la fase d'uso (energia per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione, ecc.) ed energia spesa nella fase di costruzione, manutenzione e demolizione, ossia l'energia incorporata. La fase d'uso, in genere, rappresenta la quota maggiore del consumo energetico connesso al ciclo di vita dell'edificio [7]. In particolare, negli edifici standard nei Paesi con clima mediterraneo, dove gli edifici convenzionali risalgono agli anni '50 e '60, essa rappresenta una quota variabile tra il 70 e il 90% dei consumi energetici complessivi, mentre una quota dal 10% al 30% è consumata nell'estrazione dei materiali da costruzione e nella produzione, e meno di 1% nei trattamenti a fine del ciclo di vita [8].

Dunque, l'energia incorporata dei materiali da costruzione e nei componenti non dovrà più essere trascurata [9]. Assume una sempre maggiore importanza la certificazione dei requisiti di sostenibilità e di rilascio delle etichette ambientali, affinché circolino prodotti da costruzione provvisti di etichette di conformità caratterizzate attraverso indicatori di sostenibilità quantificabili, replicabili, confrontabili e armonizzati [10].

Le due norme ISO 21931-1:2010 "Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1 Buildings" e ISO 21930:2007 "Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products" forniscono, la prima, indicazioni strategiche per l'affidabilità e la comparabilità dei metodi di valutazione della performance ambientale degli edifici e delle opere edili correlate realizzate nel lotto di pertinenza. La norma identifica e descrive gli elementi di cui tener conto nell'impiego e nello sviluppo di metodi di valutazione delle performance ambientali per edifici nuovi od esistenti durante le fasi di progettazione, costruzione, uso, manutenzione e riqualificazione, e nella fase finale di dismissione. L'oggetto della valutazione nella ISO 21931-1:2010 è l'edificio e la sua pertinenza. L'applicabilità della ISO 21931 è legata all'impiego della ISO 14040:2006 "Environmental management – Life Cycle assessment – Principle and framework" che descrive i principi e i criteri dell'Analisi del Ciclo di Vita LCA, nonché norme della serie ISO 14020 "Environmental labels and declarations" relative alle diverse tipologie di etichettatura ambientale

possibili (Tipo I la ISO 14024; tipo II la ISO 14021; Tipo III la ISO 14025); la seconda norma, fornisce invece i principi per la elaborazione di una dichiarazione ambientale di prodotto di tipo III (EPD Environmental Product Declaration) da utilizzare nella comunicazione B2B business-tobusiness. La norma definisce i requisiti base per lo sviluppo di Product Category Rules (PCR) (come definite nella ISO 14025) necessarie per la redazione di una Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD).

In particolare, la Etichetta ambientale di tipo III o EPD, individuata dalla Norma ISO 14020 e definita dalla ISO 14025, sembra essere lo strumento univoco e più efficace per la comunicazione e la diffusione di informazioni ambientali certificate riguardo alla sostenibilità dei prodotti. L'EPD fornisce dati quantitativi sul profilo ambientale di un prodotto, calcolati secondo le procedure di LCA ed espressi tramite indicatori di impatto. Tali etichette non sottendono ad una scala di valutazione della prestazione (come ad esempio le Etichette ambientali di tipo I o Ecolabel) né prevedono il superamento di una soglia minima di accettabilità, ma il rispetto di un formato nella comunicazione dei dati che faciliti il confronto tra prodotti diversi, una volta determinate condizioni al contorno univoche e all'interno dello scenario d'uso dell'edificio. La loro peculiarità è la verifica da parte di un organismo indipendente. Lo standard EN 15804 (Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products) stabilisce le regole quadro per categorie di prodotti (PCR) necessarie alla elaborazione di Dichiarazioni ambientali di prodotto di Tipo III. Una EPD redatta in conformità a questo standard fornisce all'utente informazioni ambientali quantificate sul prodotto da costruzione, o sul servizio, elaborate su una base scientifica armonizzata al fine di disporre di dati primari utili per la valutazione della prestazione ambientale dell'edificio. La EPD fornisce inoltre informazioni sulle emissioni nell'ambiente interno, nel suolo e in acqua, prodotte durante l'uso dell'edificio, che possano risultare potenzialmente nocive per la salute umana [11].

2 Descrizione delle attività svolte e risultati – Sistemi di Copertura a verde

2.1 Obiettivi

L'obiettivo della analisi LCA condotta sulle 6 diverse tipologie di tetto verde è di fornire al progettista un utile strumento per la valutazione degli impatti ambientali e dei consumi di risorse legati alla installazione di coperture a verde su solai di tipo tradizionale, al variare della composizione specifica del substrato di crescita e quindi della tipologia di sistema a verde selezionato

Per tutte le tipologie di copertura a verde analizzate, sono stati definiti cinque scenari di analisi, al variare dei livelli diversi di isolamento termico (ossia di spessore dello strato drenante/isolante in EPS), con l'obiettivo di valutare l'incidenza della prestazione termica sulla prestazione ambientale.

Sono stati analizzate 6 configurazioni alternative di copertura a verde, di tipo estensivo e intensivo, realizzate attraverso la sovrapposizione di 4 strati con funzioni complementari ed in particolare:

- uno strato vegetativo o *medium* nel quale viene piantumato il *sedum* specifico
- uno strato separatore antiradice
- uno strato drenante e isolante in EPS
- un manto impermeabile antiradice

Lo strato separatore è costituito da una membrana con densità 1126 kg/m^3 , lo strato drenante e isolante è costituito da un pannello sagomato in EPS con densità 25 kg/m^3 mentre il manto antiradice è costituito da una guaina bituminosa con densità 5 kg/m^2 .

I *medium* utilizzati nelle diverse configurazioni sono stati elaborati a partire da mix disponibili attualmente sul mercato europeo. Nel dettaglio si riporta di seguito la composizione dei 7 substrati vegetativo:

- TIPO A: composto da 75% Pomice, 15% Lapilli, 10% Compost
- TIPO B: composto da 20% Pomice, 63% Lapilli, 2% Compost, 1% Zeolite, 14% Torba

- TIPO C: composto da 10% Pomice, 80% Mattoni riciclati, 8% Torba, 2% tappeto erboso
- TIPO D: composto da 25% Pomice, 60% Lapilli, 15% Compost
- TIPO E: composto da 20% Pomice, 80% Compost
- TIPO F: composto da 25% Pomice, 60% Lapilli, 15% Torba
- TIPO G: composto da 45% Fibra di cocco, 25% Perlite espansa, 15% Pomice, 15% Ghiaietto

Analogamente, tenendo conto che l'installazione di una copertura a verde può portare benefici ambientali ed energetici, tanto in zone climatiche calde quanto in quelle più fredde, per ognuna delle 6 tipologie di copertura a verde analizzate, sono stati definiti cinque scenari di analisi, al variare dei livelli diversi di isolamento termico (ossia di spessore dello strato drenante/isolante in EPS), con l'obiettivo di valutare l'incidenza della prestazione termica sulla prestazione ambientale. Gli scenari sono stati configurati affinché il sistema tetto nel complesso sia in grado di soddisfare i valori di trasmittanza termica minima per le diverse zone climatiche, in accordo ai limiti introdotti dalla normativa energetica italiana con il DM 26/06/15 (di seguito DM).

2.2 Confini del Sistema

L'analisi LCA delle 6 tipologie di copertura a verde è stata condotta secondo l'approccio modulare così come definito dalla norma europea UNI EN 15804.

L'analisi degli impatti nel ciclo di vita ha considerato i flussi in ingresso e uscita dal sistema relativamente alla sola fase di produzione A dei materiali ed in particolare alle fasi:

- A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie prime seconde o dei flussi secondari in ingresso
- A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione
- A3, processo di produzione.

Questi includono l'approvvigionamento di tutti i materiali, prodotti e vettori energetici, gli imballaggi e il trasporto allo stabilimento di produzione, la gestione dei rifiuti fino al raggiungimento dello stato di *end-of-waste* o allo smaltimento all'interno del processo di produzione.

I risultati dell'analisi LCA sono riportati in forma aggregata, ossia i sub-moduli A1, A2, A3 sono considerati quale modulo unico A1-A3.

Gli impatti ambientali derivanti dall'analisi, consentono pertanto di elaborare una Dichiarazione Ambientale di Prodotto del tipo dalla culla al cancello (*cradle to gate*).

2.3 Vita Utile di Riferimento (RSL)

La Vita Utile di Riferimento (RSL) o durabilità del sistema del tetto verde, soggetto ad una adeguata manutenzione, è da considerarsi pari alla vita utile della copertura al di sopra della quale viene installata.

2.4 Scenario LCA e informazioni tecniche aggiuntive

Al fine di fornire indicazioni utili sugli impatti ambientali di un sistema di copertura a verde in relazione alla prestazione termica minima prevista dal DM 26/06/15, per il processo in oggetto sono stati determinati 5 diversi scenari di impiego, al variare dello spessore dello strato drenante/isolante e, conseguentemente, al variare del valore relativo di trasmittanza termica del pacchetto, in riferimento ai valori minimi di U di cui alla Tabella 2 dell' Appendice A del DM.

Gli spessori sono stati calcolati ipotizzando che il Tetto Verde sia installato al di sopra di un solaio tradizionale in laterocemento (sp. 16+4 cm).

I risultati delle valutazioni di impatto per le sei tipologie di copertura a verde analizzate

2.5 Copertura a verde estensivo - TIPO A

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo estensivo ad alta densità, caratterizzato da un medium di TIPO A costituito da un mix di materiali inerti che conferiscono al substrato una densità pari a 878kg/m² e nello specifico:

- 75% di Pomice
- 15% di Lapilli
- 10% di Compost

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.5.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 1 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	76	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,013	-
unità dichiarata	1	mq

La Figura 1 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

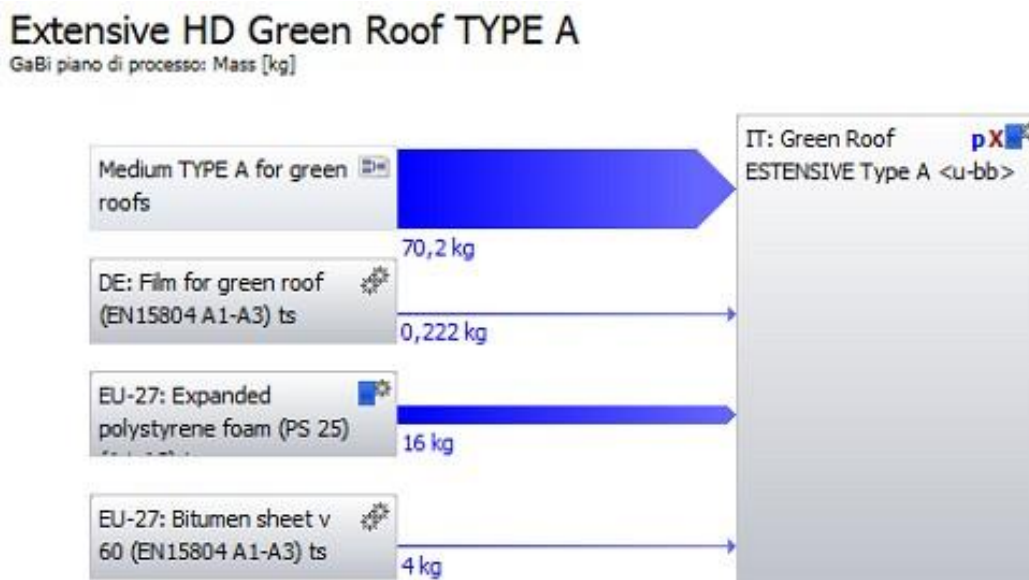


Figura 1 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A - scenario di default 8cm

2.5.2 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 2 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per lo scenario di default

	Extensive HD Green Roof TYPE A	Medium TYPE A for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,97E-005	3,84E-008	1,49E-006	5,45E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	5,61E+000	1,49E+001	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,16E-001	1,59E-002	1,19E-003	7,42E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-002	4,09E-003	1,98E-004	5,60E-004	8,41E-003
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	5,45E+001	6,51E+000	6,10E-001	1,47E+000	4,59E+001

Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,21E-009	3,44E-011	6,73E-011	2,64E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	5,36E-004	3,83E-004	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 3 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,97E-005	2,16E-005	2,60E-005	2,92E-005	3,24E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	1,72E+003	2,20E+003	2,54E+003	2,89E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,16E-001	1,29E-001	1,61E-001	1,84E-001	2,07E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-002	1,45E-002	1,75E-002	1,96E-002	2,17E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	5,45E+001	6,14E+001	7,75E+001	8,89E+001	1,00E+002
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,21E-009	3,63E-009	4,63E-009	5,34E-009	6,05E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	3,02E-001	3,94E-001	4,59E-001	5,24E-001

Tabella 4 Consumo di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per lo scenario di default

	Extensive HD Green Roof TYPE A	Medium TYPE A for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,55E+003	5,93E+000	1,56E+001	1,26E+002	1,40E+003
Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,55E+001	5,20E-001	9,60E-001	1,53E+000	2,25E+001

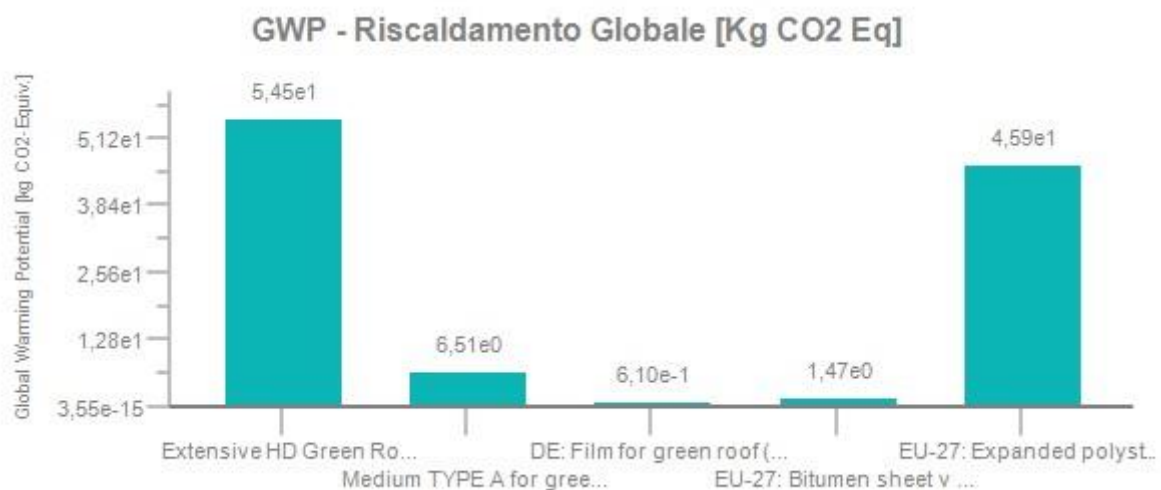


Figura 2 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq. - Scenario 8cm

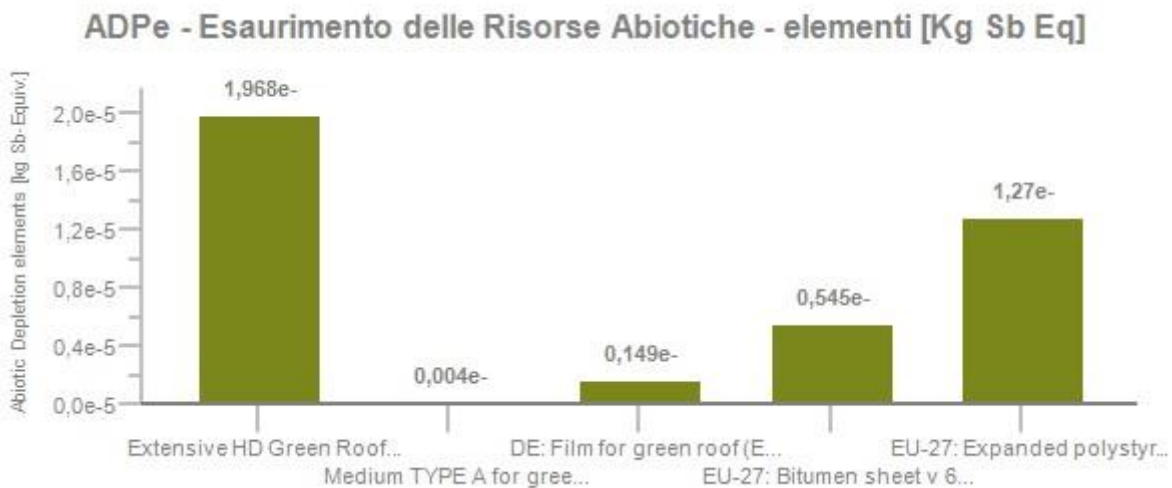


Figura 3 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

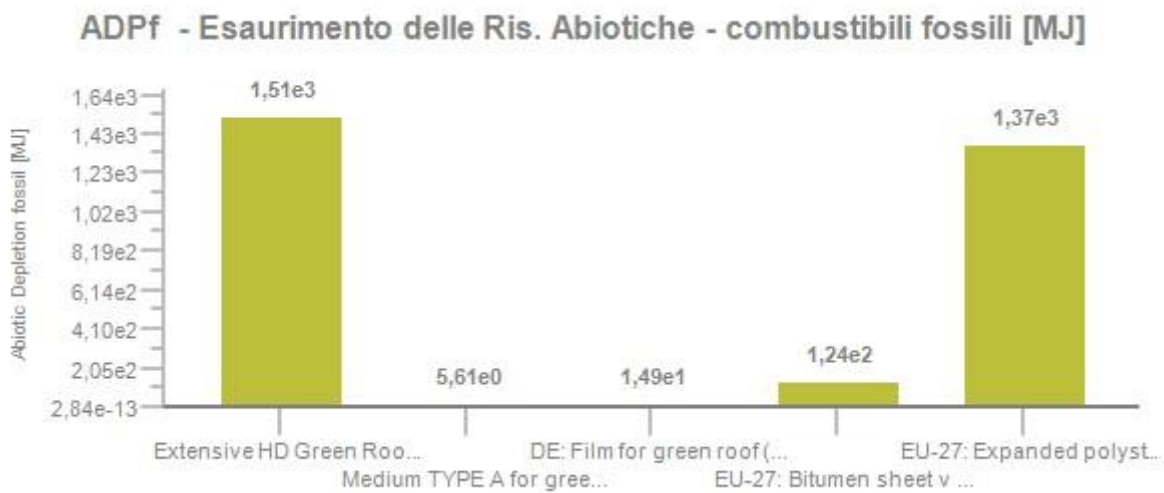


Figura 4 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

Acidificazione del Suolo e delle Acque [Kg SO₂ Eq.]

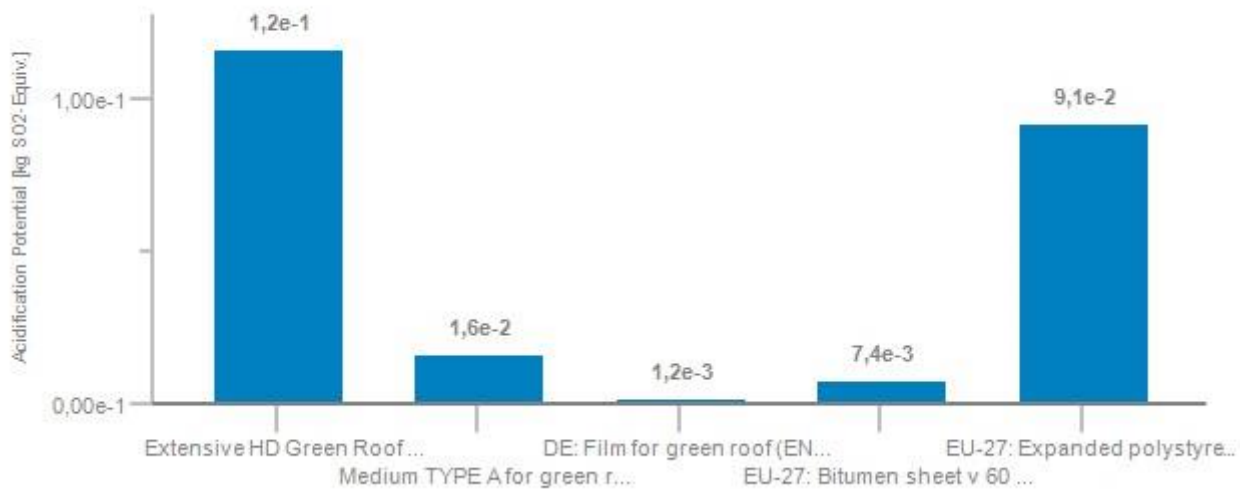


Figura 5 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO₂ Eq. - Scenario 8cm

EP - Eutrofizzazione [Kg (PO₄)⁻³ Eq.]

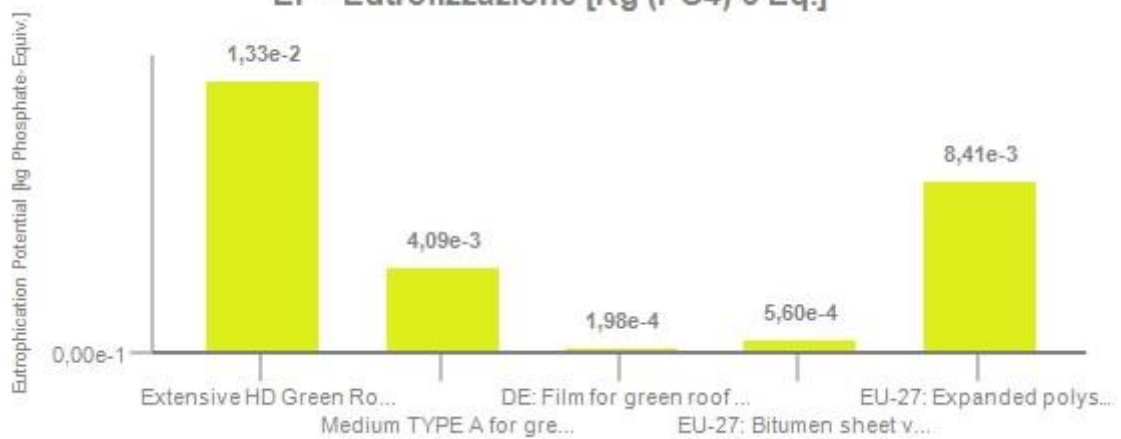


Figura 6 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)⁻³ Eq. - Scenario 8cm

ODP - Riduzione dello Strato di Ozono [Kg R11 Eq.]

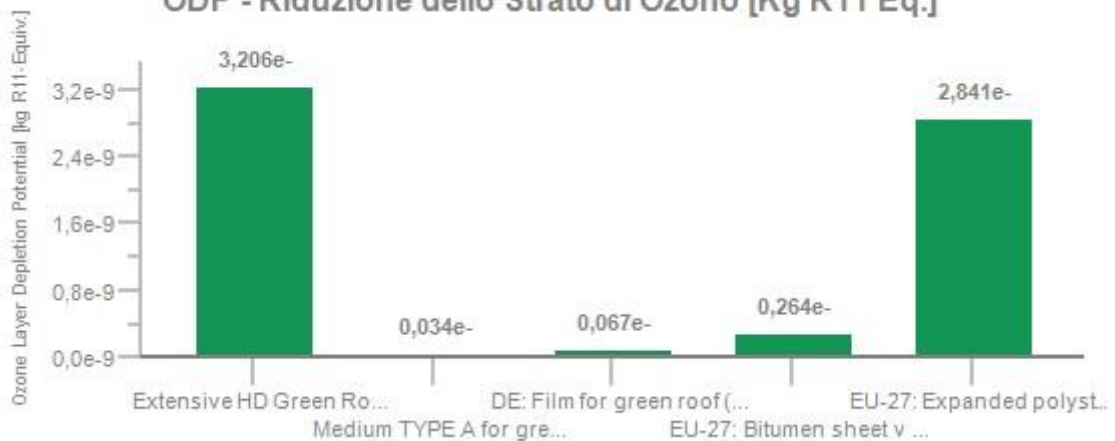


Figura 7 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

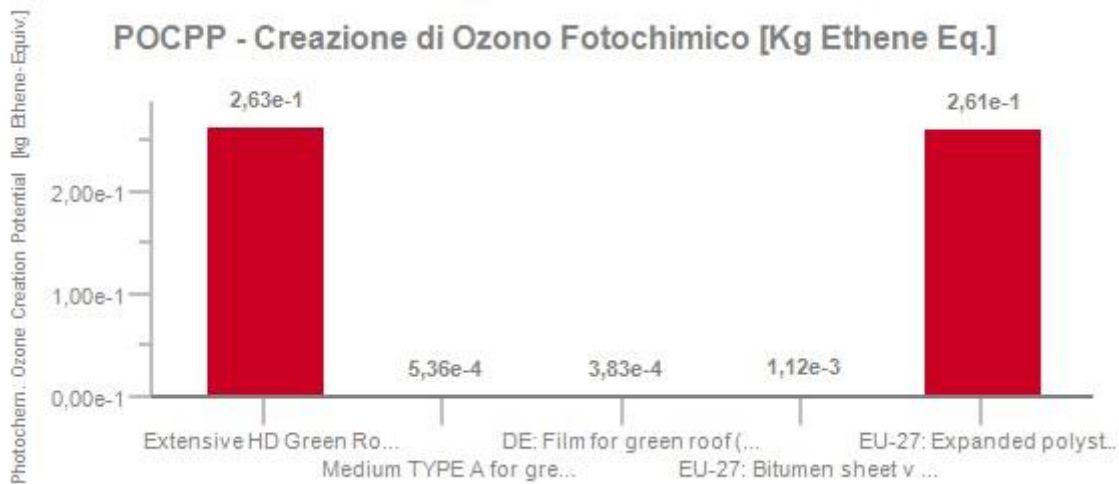


Figura 8 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento. La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 9 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 5 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A – scenario di default 8cm

	Extensive HD Green Roof TYPE A	Medium TYPE A for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam
Non renewable energy resources	1,55E+003	5,93E+000	1,56E+001	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,79E+002	4,70E+000	6,18E+000	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	4,00E+001	2,01E-001	5,85E-001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	1,52E+001	1,42E-001	6,40E-001	8,13E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	4,80E+002	5,64E-001	7,49E+000	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	1,63E-001	1,82E-003	5,39E-004	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	3,13E+001	3,25E-001	6,98E-001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,55E+001	5,20E-001	9,60E-001	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,66E-001	2,84E-003	7,05E-004	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	6,12E+000	6,25E-002	9,37E-002	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,26E+001	3,89E-001	6,63E-001	6,91E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	1,03E-011	9,59E-014	4,73E-013	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	6,50E+000	6,51E-002	2,03E-001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,75E+002	8,96E+000	8,63E+000	5,73E+000	2,52E+002

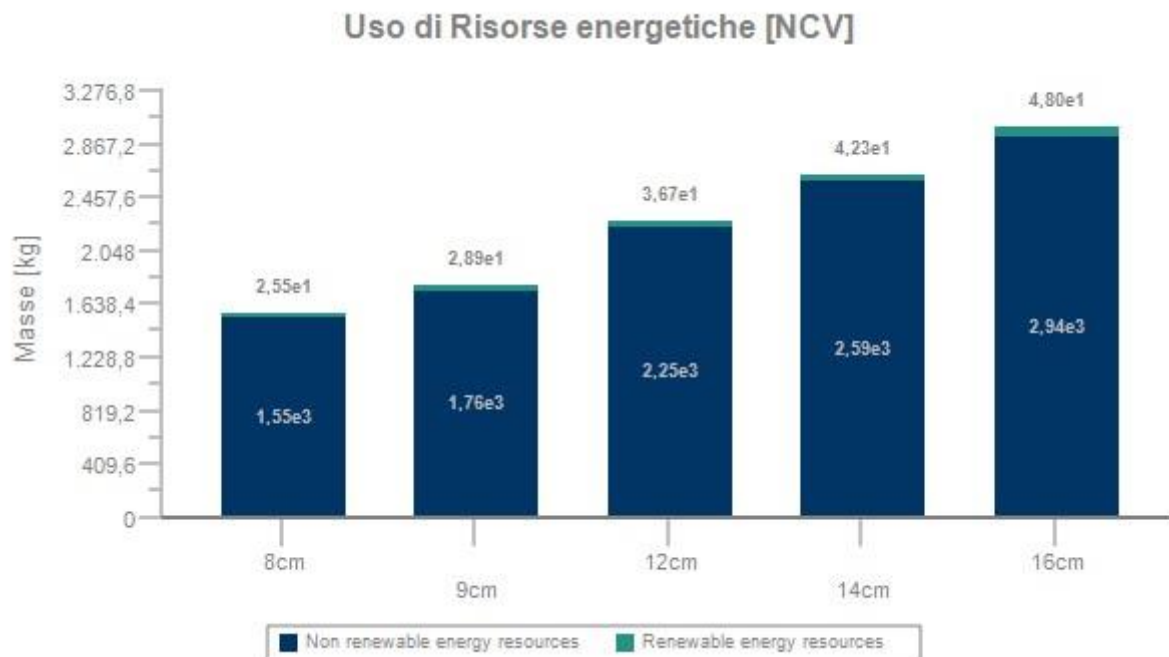


Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto

2.5.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 6 riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 6 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per lo scenario di default 8cm

	Extensive HD Green Roof TYPE A	Medium TYPE A for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam
Carbon dioxide	4,39E+001	4,16E-001	5,63E-001	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	4,52E+000	3,68E+000	3,12E-002	4,36E-002	7,67E-001

2.5.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 2-Figura 3-Figura 4-Figura 5-Figura 6-Figura 7-Figura 8 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.6 Copertura a verde estensivo - TIPO B

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo estensivo ad alta densità, caratterizzato da un medium di TIPO B costituito da un mix di materiali inerti che conferiscono al substrato una densità pari a 500kg/m² e nello specifico:

- 20% di Pomice

- 63% di Lapilli
- 1% di Zeolite
- 14% di Torba
- 2% di Compost

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.6.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 7 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	46	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0217	-
unità dichiarata	1	mq

La Figura 10 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

Extensive LD Green Roof TYPE B

GaBi piano di processo: Mass [kg]



Figura 10 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B - scenario di default 8cm

2.6.2 Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all’impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 8 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per lo scenario di default

	Extensive LD Green Roof TYPE B	Medium TYPE B for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	2,20E-005	2,37E-006	1,49E-006	5,45E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,56E+003	4,90E+001	1,49E+001	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,03E-001	2,72E-003	1,19E-003	7,42E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-	9,83E-003	6,62E-004	1,98E-004	5,60E-004	8,41E-003

Equiv.]					
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,88E+001	8,40E-001	6,10E-001	1,47E+000	4,59E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	5,61E-012	6,73E-011	2,64E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	1,67E-004	3,83E-004	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 9 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	2,20E-005	2,39E-005	2,84E-005	3,15E-005	3,47E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,56E+003	1,76E+003	2,24E+003	2,59E+003	2,93E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,03E-001	1,16E-001	1,48E-001	1,71E-001	1,94E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	9,83E-003	1,11E-002	1,40E-002	1,61E-002	1,82E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,88E+001	5,57E+001	7,18E+001	8,33E+001	9,47E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	3,60E-009	4,60E-009	5,31E-009	6,02E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	3,02E-001	3,93E-001	4,58E-001	5,24E-001

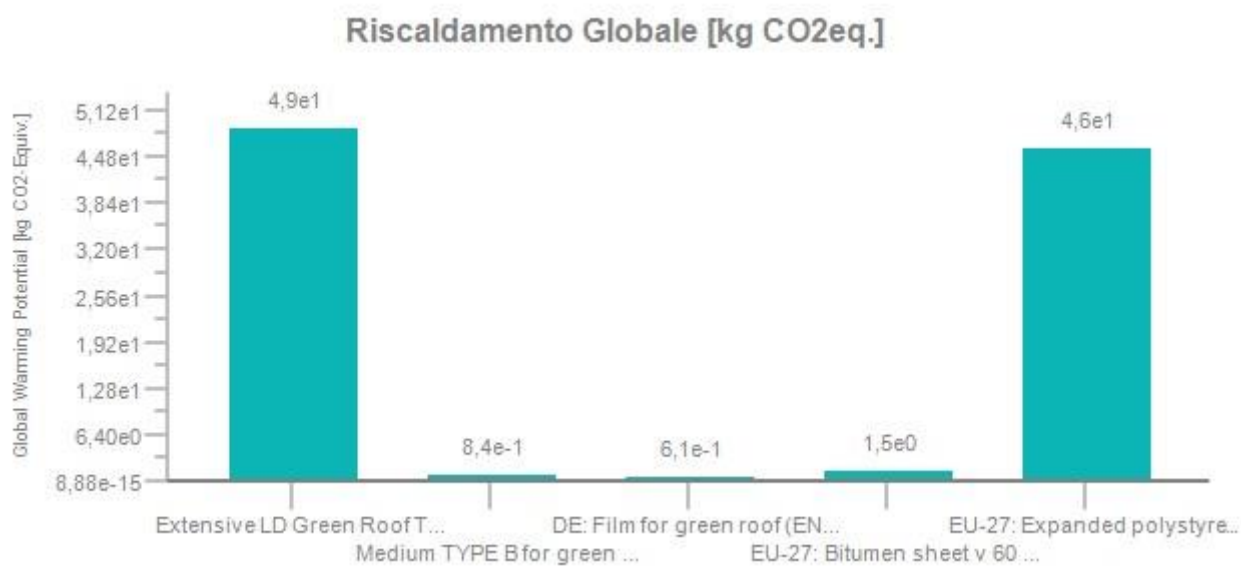


Figura 11 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq. - Scenario 8cm

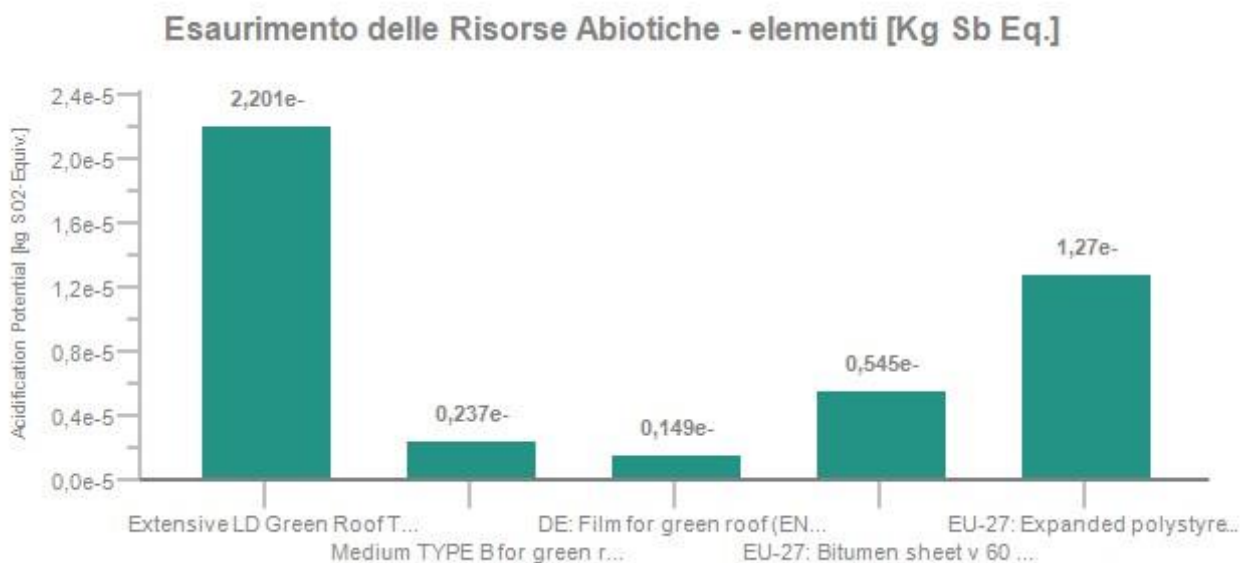


Figura 12 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

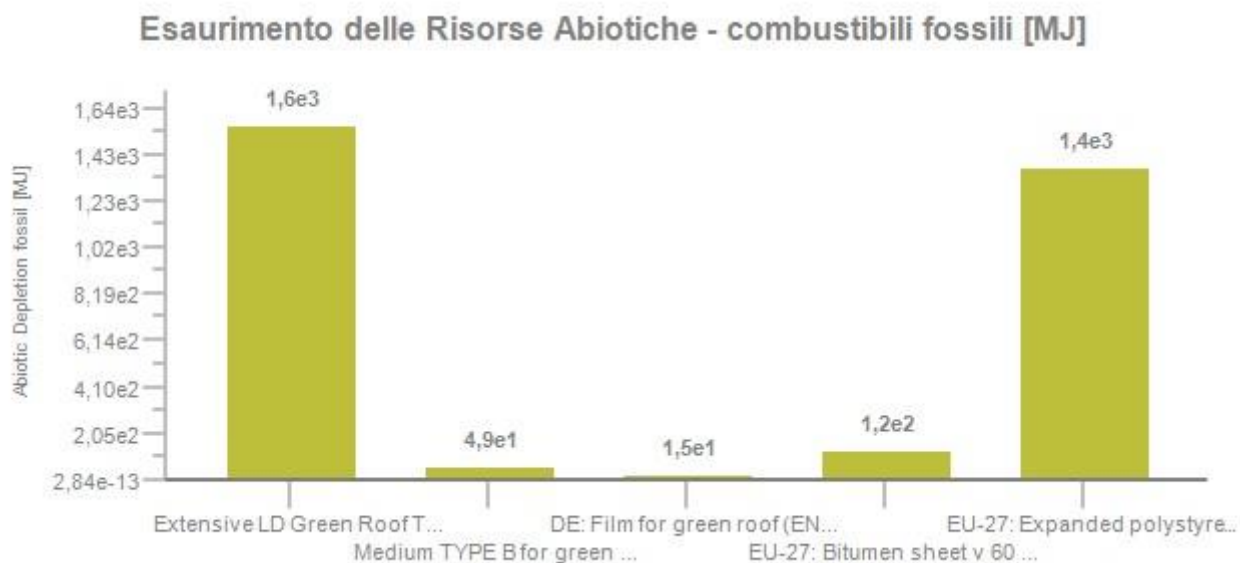


Figura 13 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

Acidificazione del Suolo e delle Acque [Kg SO₂ Eq.]

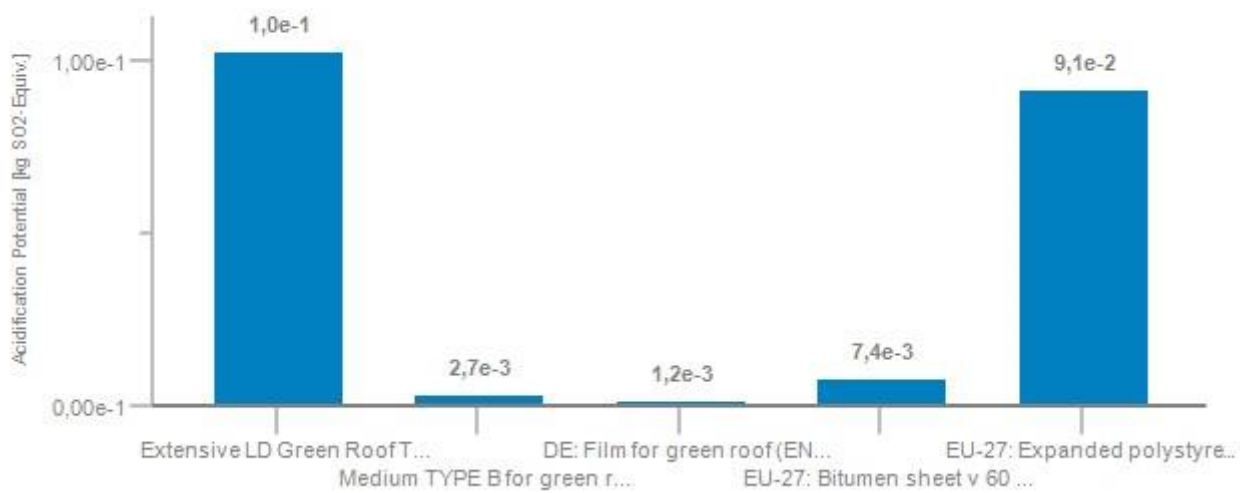


Figura 14 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO₂ Eq. - Scenario 8cm

Eutrofizzazione [Kg (PO₄)-3 Eq.]

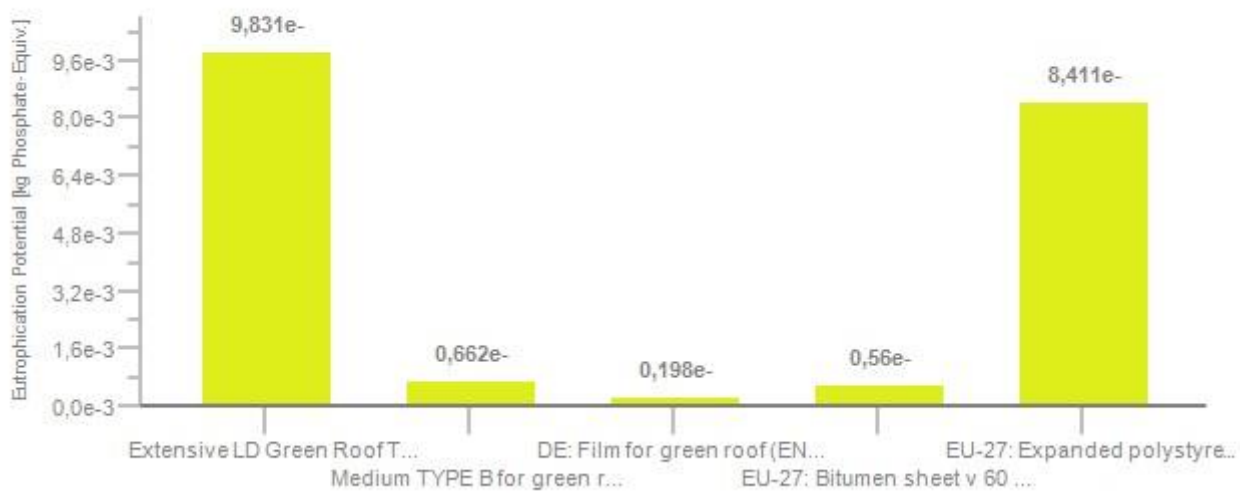


Figura 15 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)⁻³ Eq. - Scenario 8cm

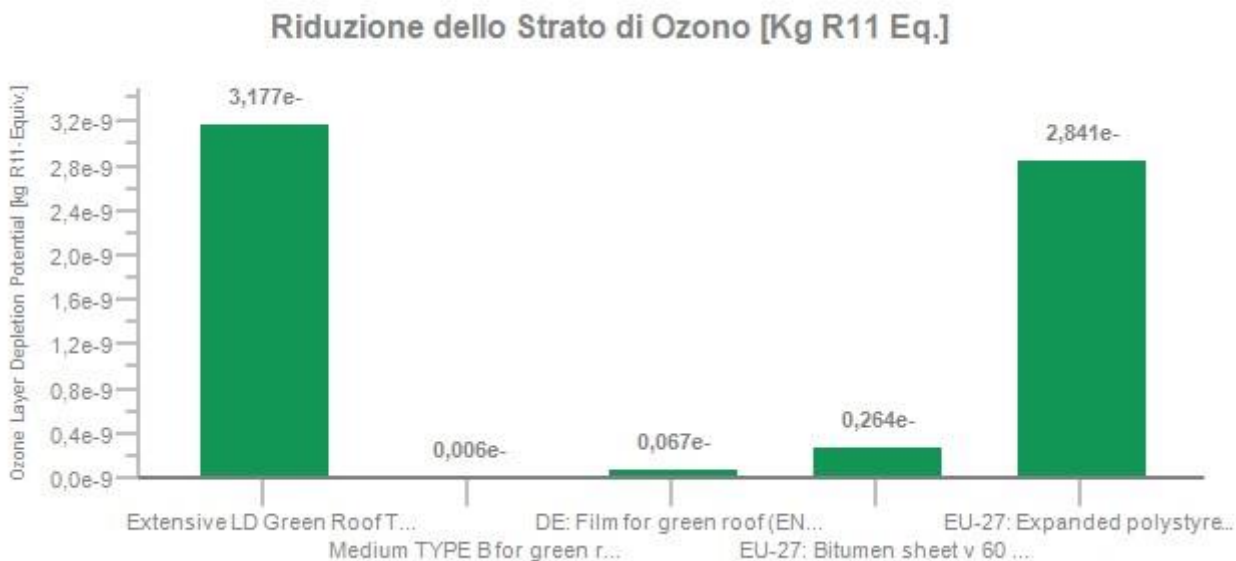


Figura 16 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

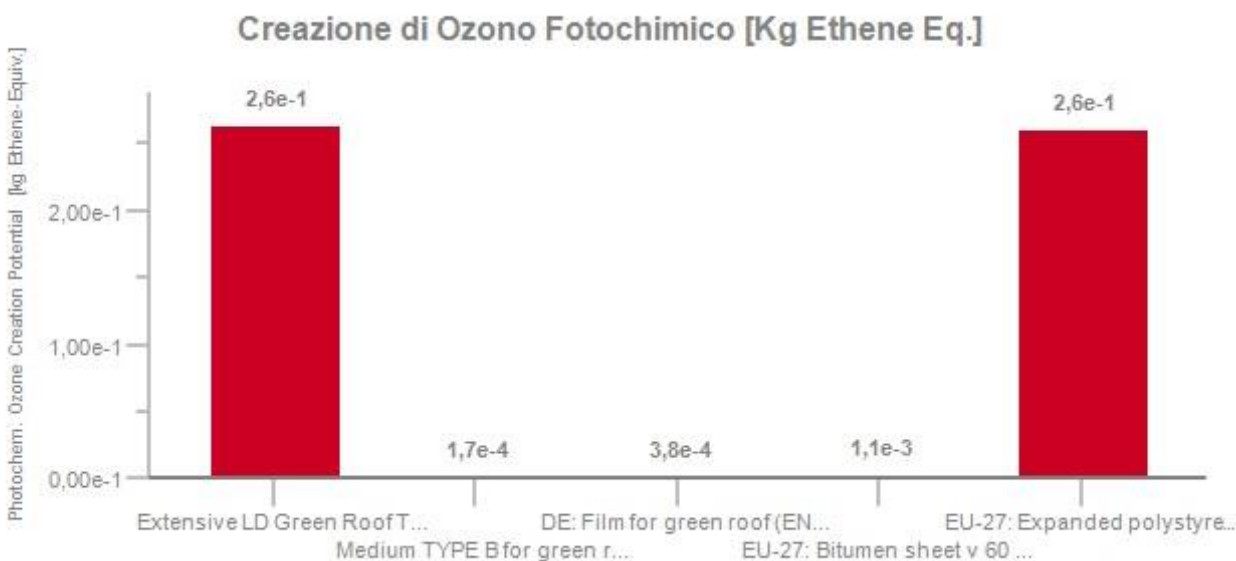


Figura 17 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La Tabella 10 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La Figura 18 mostra invece l'incremento della domanda di energia primaria al variare dello scenario di analisi.

Tabella 10 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per lo scenario di default

	Extensive LD Green Roof TYPE B	Medium TYPE B for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,59E+003	4,91E+001	1,56E+001	1,26E+002	1,40E+003

Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,51E+001	1,44E-001	9,60E-001	1,53E+000	2,25E+001
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

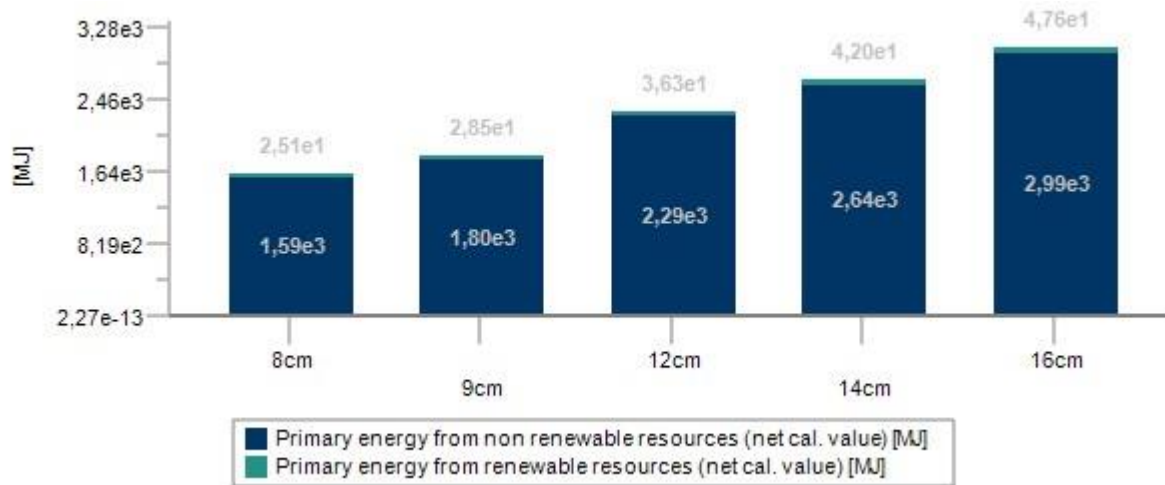


Figura 18 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per i diversi scenari a confronto

La Tabella 11 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 19 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 11 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B – scenario di default 8cm

	Extensive LD Green Roof TYPE B	Medium TYPE B for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Non renewable energy resources	1,59E+003	4,91E+001	1,56E+001	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,76E+002	1,75E+000	6,18E+000	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	3,99E+001	3,38E-002	5,85E-001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	1,51E+001	2,36E-002	6,40E-001	8,13E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	4,80E+002	1,78E-001	7,49E+000	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	4,72E+001	4,70E+001	5,39E-004	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	3,10E+001	5,34E-002	6,98E-001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,51E+001	1,44E-001	9,60E-001	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,64E-001	4,77E-004	7,05E-004	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	6,06E+000	1,06E-002	9,37E-002	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,23E+001	1,22E-001	6,63E-001	6,91E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	1,02E-011	1,57E-014	4,73E-013	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	6,44E+000	1,07E-002	2,03E-001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,97E+002	3,12E+001	8,63E+000	5,73E+000	2,52E+002

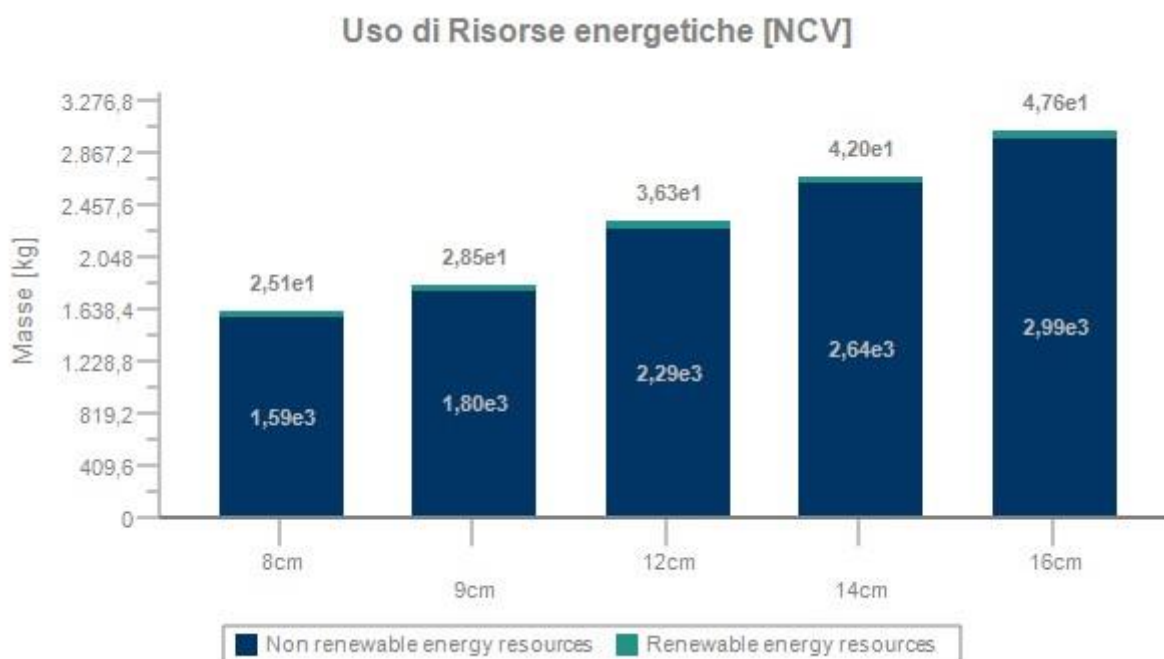


Figura 19 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per gli scenari a confronto

2.6.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 12 riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 12 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B per lo scenario di default 8cm

	Extensive LD Green Roof TYPE B	Medium TYPE B for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Carbon dioxide	4,36E+001	1,47E-001	5,63E-001	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	1,26E+000	4,20E-001	3,12E-002	4,36E-002	7,67E-001

2.6.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 11-Figura 12-Figura 3-Figura 13-Figura 14-Figura 15-Figura 16-Figura 17 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO B espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.7 Copertura a verde intensivo - TIPO C

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo intensivo ad alta densità, caratterizzato da un *medium* di TIPO C costituito da un mix di materiali inerti di cui una porzione rilevante proviene da materiale riciclato, che conferiscono al substrato una densità pari a 1400kg/m² e nello specifico:

- 80% di Laterizi riciclati e frantumati

- 10% di Pomice
- 8% di Torba
- 2% di tappeto erboso

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.7.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 13 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	118	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0084	-
unità dichiarata	1	mq

La Figura 20 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

Intensive Recycled Green Roof TYPE C

GaBi piano di processo: Mass [kg]

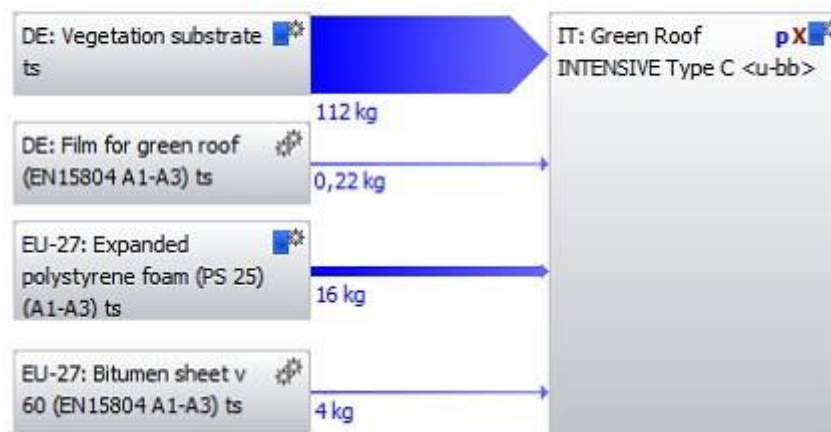


Figura 20 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C - scenario di default 8cm

2.7.2 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 14 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default

	Intensive Recycled Green Roof TYPE C	DE: Film for green roof	DE: Vegetation substrate	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	2,99E-005	1,48E-006	1,03E-005	5,44E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,64E+003	1,47E+001	1,26E+002	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,19E-001	1,18E-003	1,93E-002	7,41E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,70E-002	1,96E-004	7,87E-003	5,59E-004	8,41E-003

Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,37E+001	6,04E-001	-4,24E+000	1,47E+000	4,59E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,77E-009	6,67E-011	5,97E-010	2,63E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,64E-001	3,79E-004	1,05E-003	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 15 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	2,99E-005	3,18E-005	3,63E-005	3,94E-005	4,26E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,64E+003	1,84E+003	2,32E+003	2,66E+003	3,01E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,19E-001	1,33E-001	1,65E-001	1,87E-001	2,10E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,70E-002	1,83E-002	2,12E-002	2,33E-002	2,54E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,37E+001	5,06E+001	6,67E+001	7,82E+001	8,97E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,77E-009	4,19E-009	5,19E-009	5,90E-009	6,61E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,64E-001	3,03E-001	3,94E-001	4,59E-001	5,25E-001

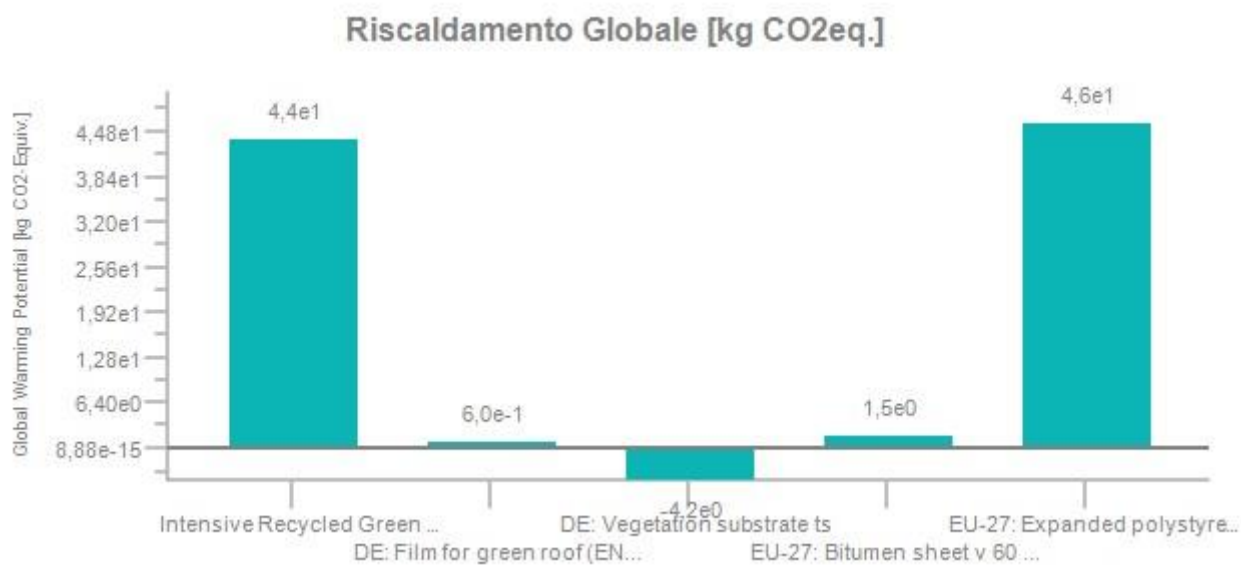


Figura 21 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO2 Eq. - Scenario 8cm

Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi [Kg Sb Eq.]

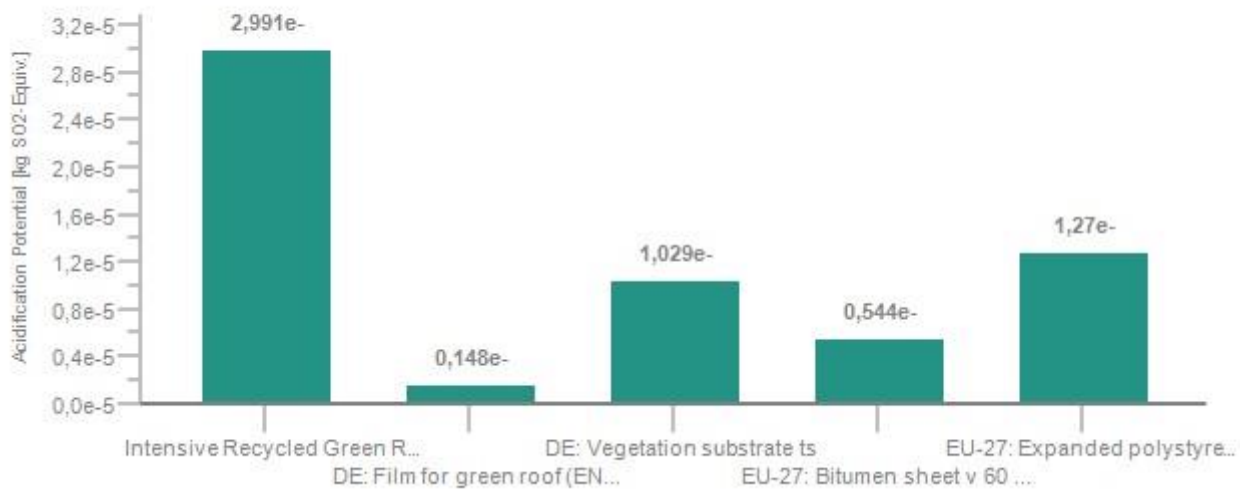


Figura 22 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili [MJ]

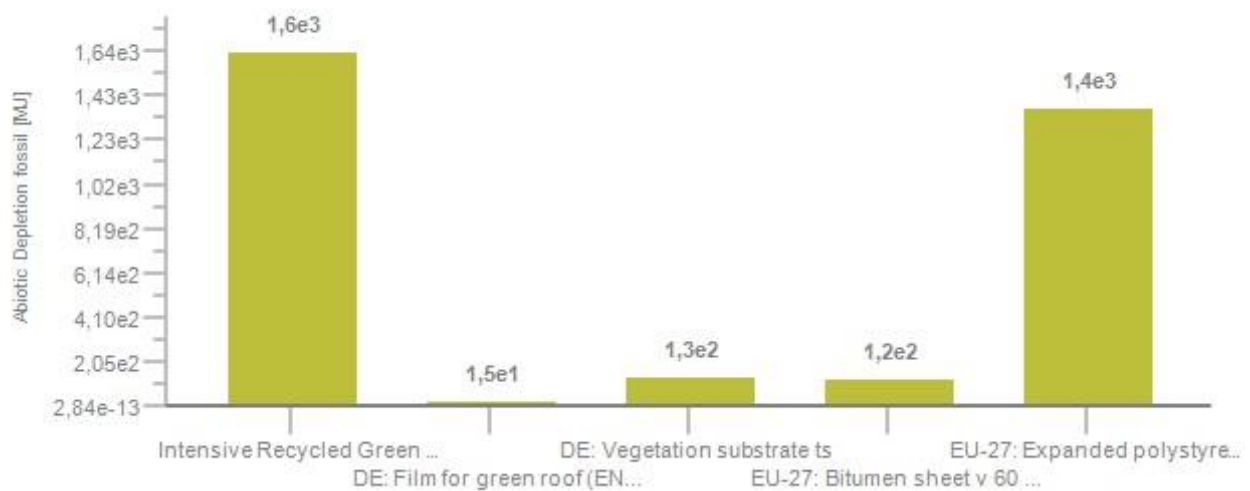


Figura 23 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

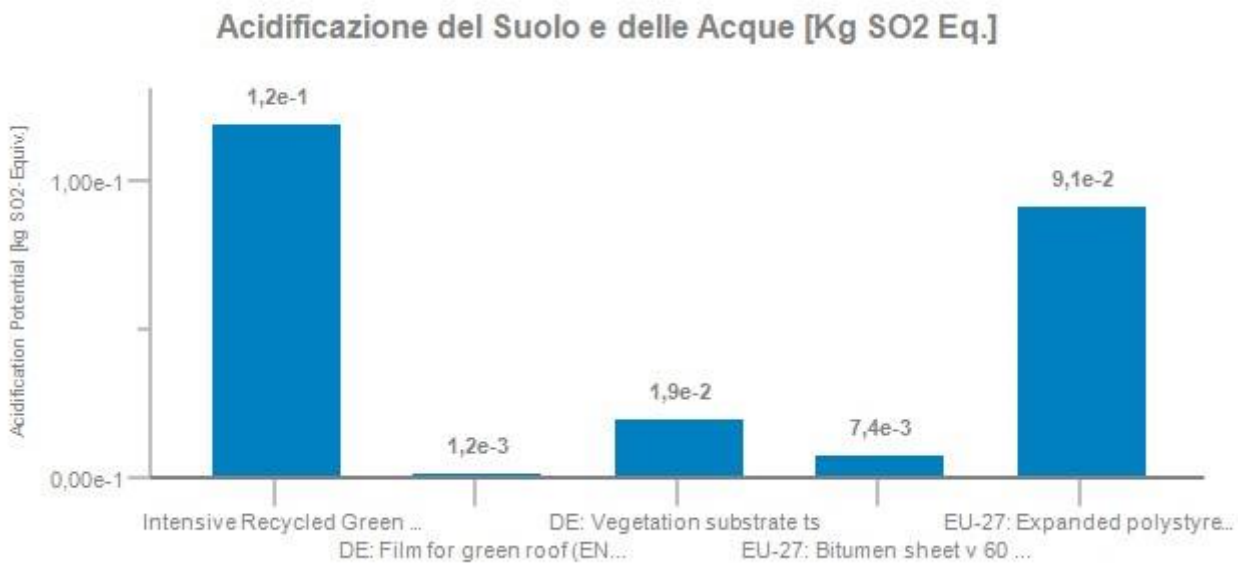


Figura 24 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO2 Eq. - Scenario 8cm

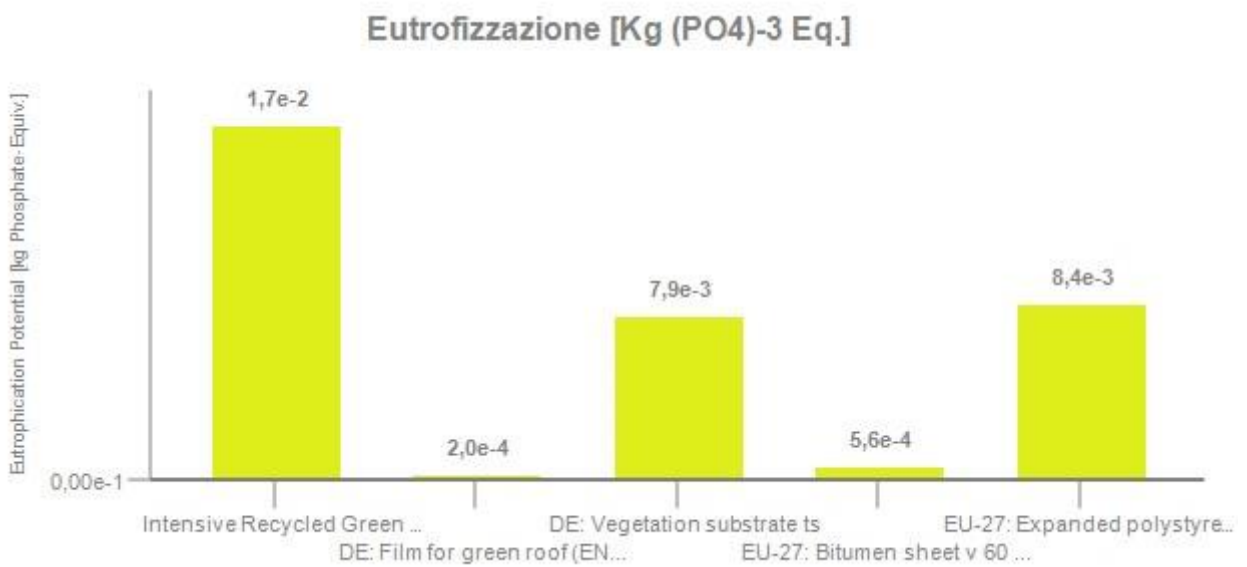


Figura 25 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)⁻³ Eq. - Scenario 8cm

Riduzione dello Strato di Ozono [Kg R11 Eq.]



Figura 26 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

Creazione di Ozono Fotochimico [Kg Ethene Eq.]

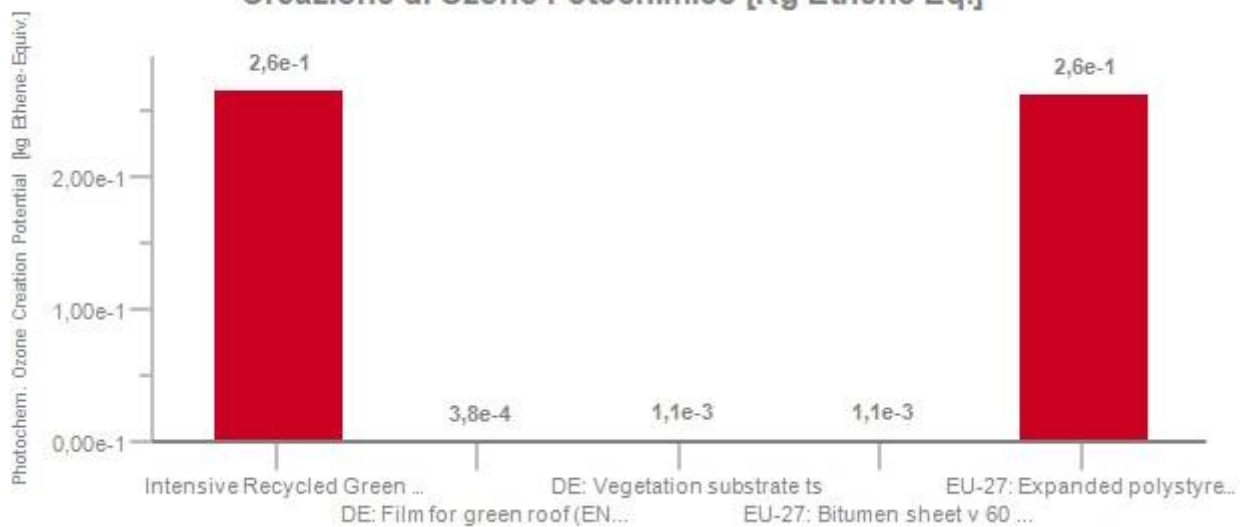


Figura 27 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La Tabella 16 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La Figura 28 mostra invece l'incremento della domanda di energia primaria al variare dello scenario di analisi.

Tabella 16 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default

	Intensive Recycled Green Roof TYPE C	DE: Film for green roof	DE: Vegetation substrate	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,70E+003	1,54E+001	1,56E+002	1,26E+002	1,40E+003

Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,04E+002	9,50E-001	1,79E+002	1,53E+000	2,25E+001
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

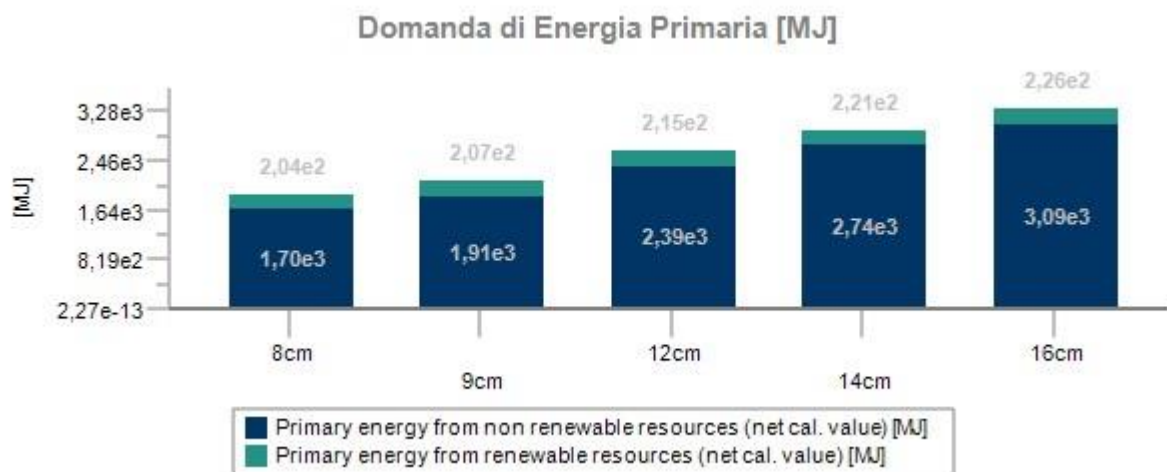


Figura 28 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per i diversi scenari a confronto

La Tabella 17 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 29 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 17 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C – scenario di default 8cm

	Intensive Recycled Green Roof TYPE C	DE: Film for green roof	DE: Vegetation substrate	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Non renewable energy resources	1,70E+003	1,54E+001	1,55E+002	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,88E+002	6,12E+000	1,32E+001	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	7,10E+001	5,80E-001	3,12E+001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	5,58E+001	6,34E-001	4,08E+001	8,12E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	5,02E+002	7,42E+000	2,23E+001	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	1,90E+001	5,34E-004	1,88E+001	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	6,01E+001	6,91E-001	2,91E+001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,04E+002	9,50E-001	1,79E+002	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,68E-001	6,98E-004	4,26E-003	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	1,05E+001	9,27E-002	4,48E+000	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,74E+002	6,56E-001	1,62E+002	6,90E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	4,12E-011	4,68E-013	3,10E-011	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	1,85E+001	2,01E-001	1,20E+001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,07E+003	8,54E+000	1,80E+003	5,73E+000	2,52E+002

Uso di Risorse energetiche [NCV]

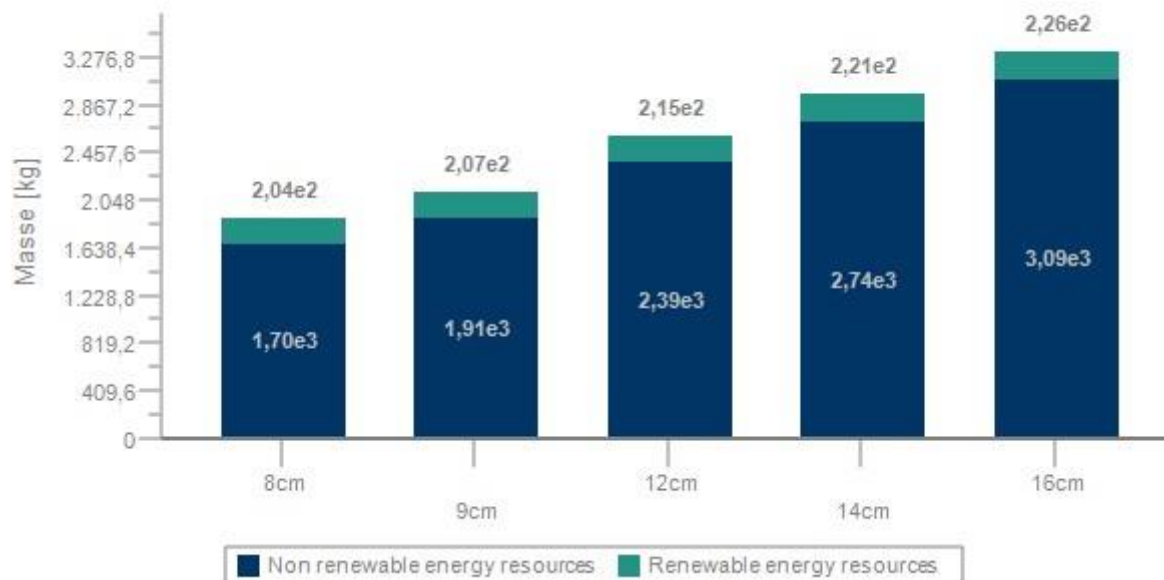


Figura 29 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per gli scenari a confronto

2.7.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 18 riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 18 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default 8cm

	Intensive Recycled Green Roof TYPE C	DE: Film for green roof	DE: Vegetation substrate	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Carbon dioxide	5,34E+001	5,57E-001	9,98E+000	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	2,61E+000	3,09E-002	1,76E+000	4,35E-002	7,67E-001

2.7.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 21-Figura 22-Figura 3-Figura 23-Figura 24-Figura 25-Figura 26-Figura 27 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo ad esclusione delle categorie di danno *Eutrofizzazione* EP ed *Esaurimento delle risorse Abiotiche – elementi* ADPe per le quali risultai significativi i contributi all'impatto totale del substrato vegetativo a base di contenuto riciclato pari al 46% e al 34% rispettivamente.

Al medesimo processo è associato anche un impatto con segno negativo relativo alla categoria di danno Riscaldamento Globale GWP pari al -10% del totale.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.8 Copertura a verde intensivo - TIPO D

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo intensivo ad alta densità, caratterizzato dall'impiego combinato di due tipi diversi di medium con caratteristiche diverse ossia:

- Medium di Tipo D costituito da un mix di materiali inerti che conferiscono al substrato una densità pari a 1000kg/m² e nello specifico:

- 60% di Lapillo
- 25% di Pomice
- 15% di Compost

- Medium di Tipo E costituito da un mix di materiali inerti che conferiscono al substrato una densità pari a 904kg/m² e nello specifico:

- 20% di Pomice
- 80% di Compost

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.8.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 19 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	81	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0123	-
unità dichiarata	1	mq

La Figura 30 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

Intensive HD Green Roof TYPE D

GaBi piano di processo: Mass [kg]

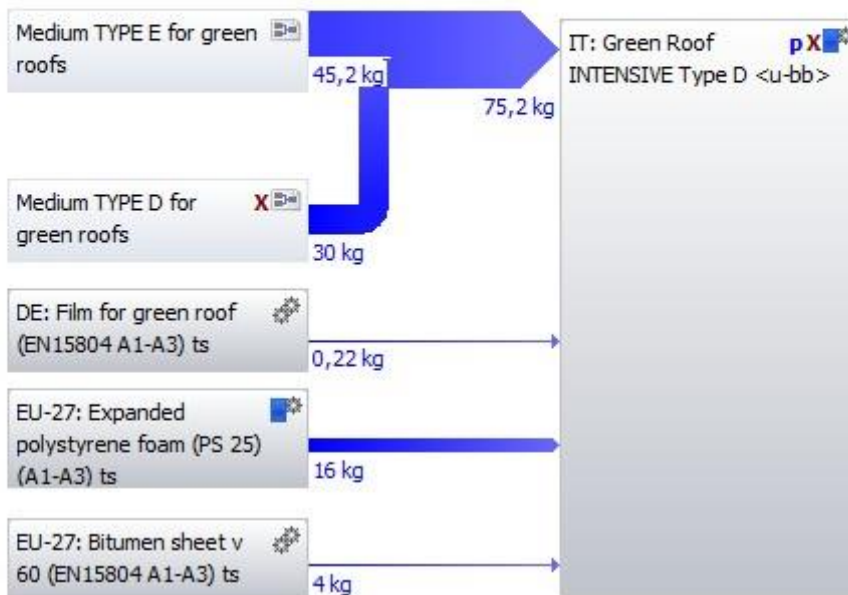


Figura 30 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO D ed E - scenario di default 8cm

2.8.2 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 20 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default

	Intensive HD Green Roof TYPE D	Medium TYPE D for green roofs	Medium TYPE E for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	9,30E-009	6,17E-009	1,48E-006	5,44E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	1,59E+000	8,75E-001	1,47E+001	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,74E-001	9,08E-003	6,53E-002	1,18E-003	7,41E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	2,89E-002	2,37E-003	1,74E-002	1,96E-004	5,59E-004	8,41E-003
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	8,33E+001	4,01E+000	3,13E+001	6,04E-001	1,47E+000	4,59E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	5,16E-012	5,88E-012	6,67E-011	2,63E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,66E-001	4,06E-004	2,65E-003	3,79E-004	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 21 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	2,15E-005	2,60E-005	2,92E-005	3,23E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	1,72E+003	2,20E+003	2,54E+003	2,88E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,74E-001	1,88E-001	2,20E-001	2,43E-001	2,65E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	2,89E-002	3,02E-002	3,31E-002	3,52E-002	3,73E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	8,33E+001	9,02E+001	1,06E+002	1,18E+002	1,29E+002
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	3,61E-009	4,60E-009	5,31E-009	6,02E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,66E-001	3,05E-001	3,96E-001	4,61E-001	5,27E-001

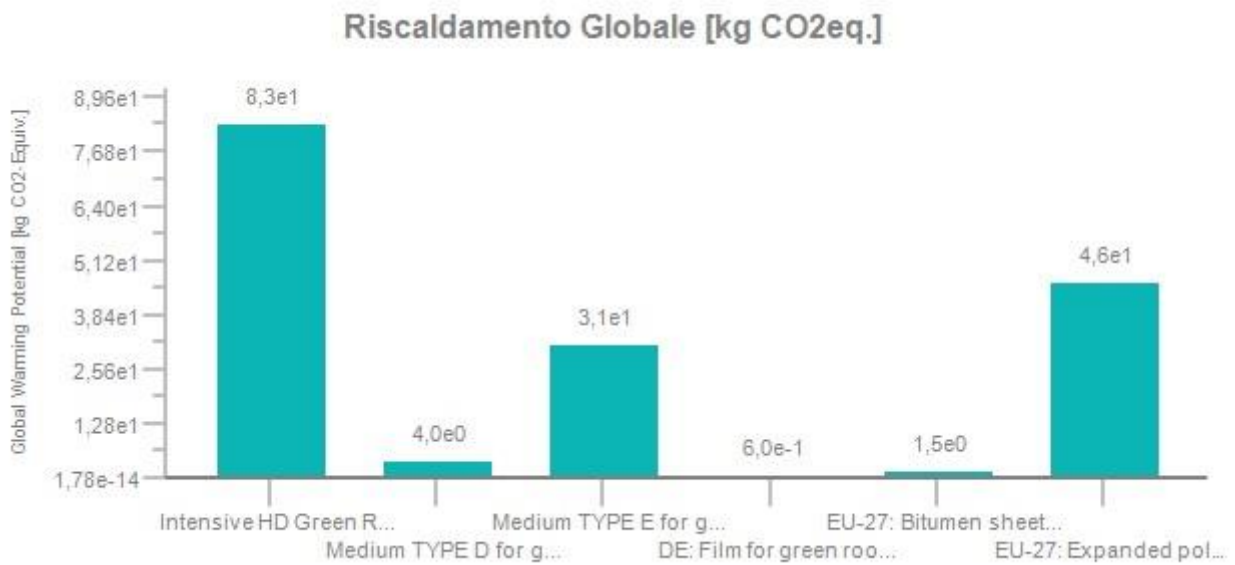


Figura 31 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq. - Scenario 8cm

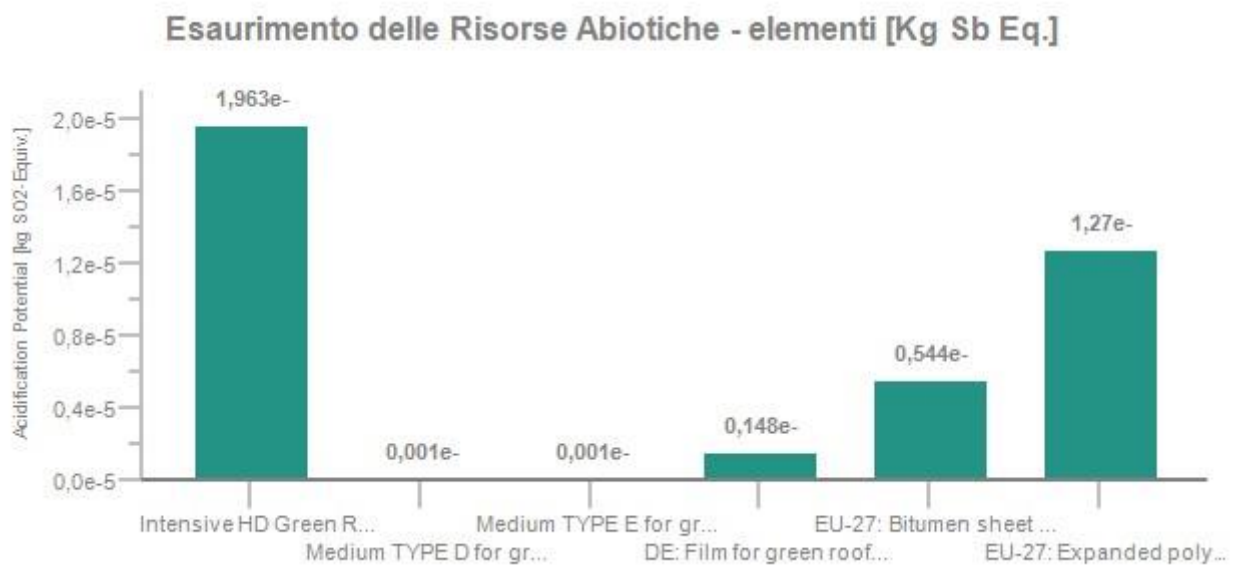


Figura 32 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili [MJ]

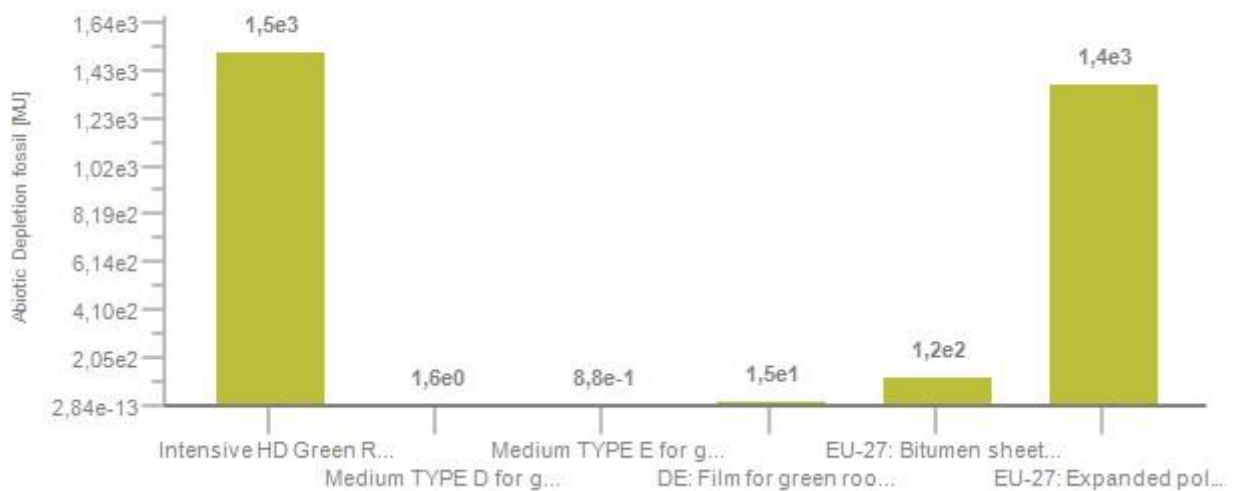


Figura 33 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

Acidificazione del Suolo e delle Acque [Kg SO2 Eq.]

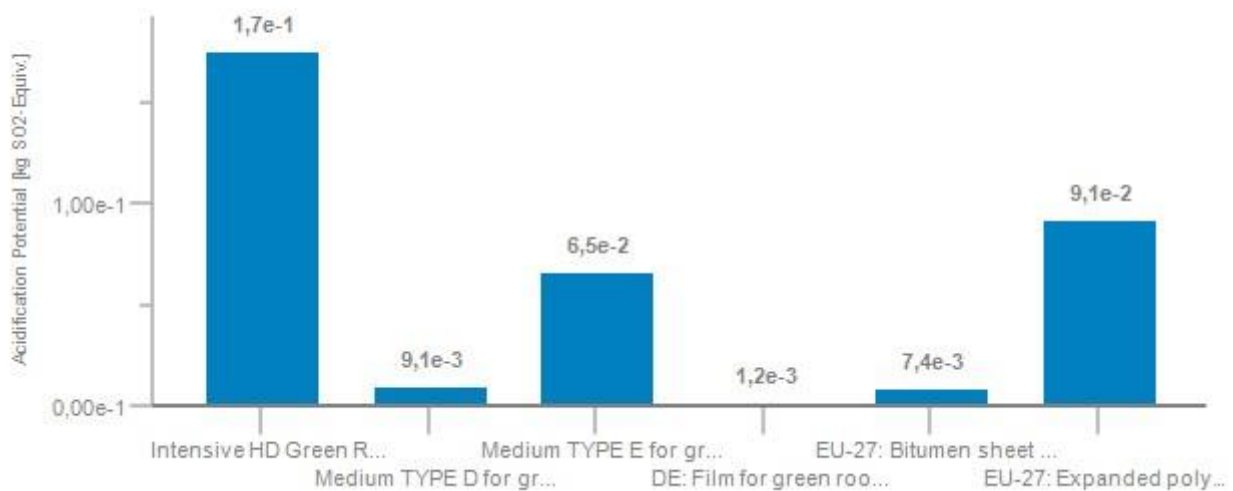


Figura 34 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO2 Eq. - Scenario 8cm

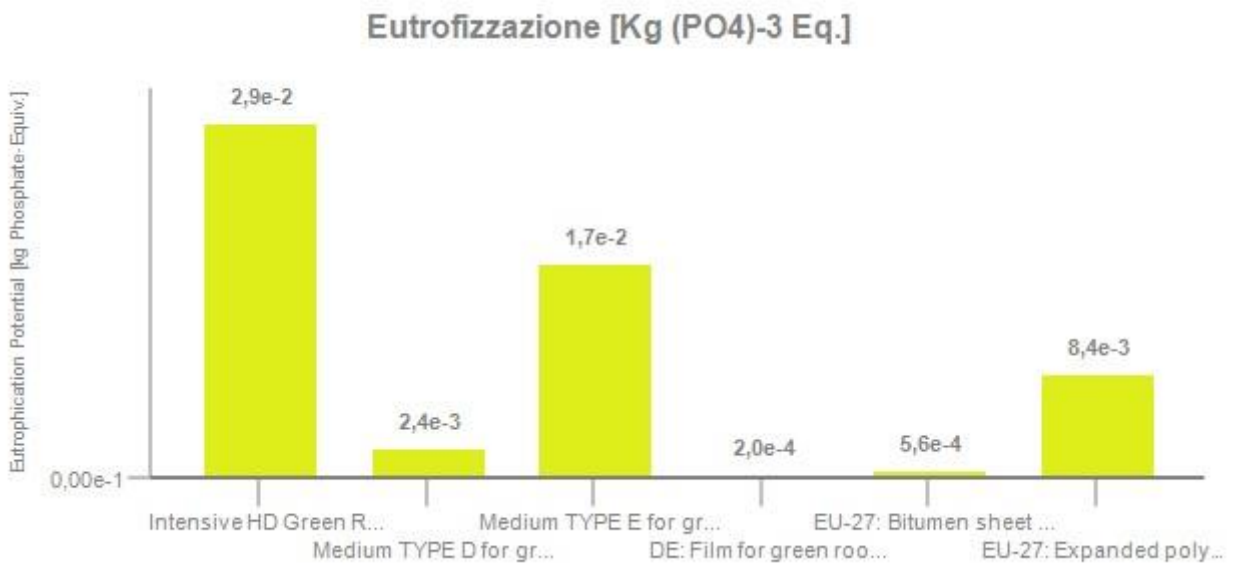


Figura 35 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)³ Eq. - Scenario 8cm



Figura 36 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

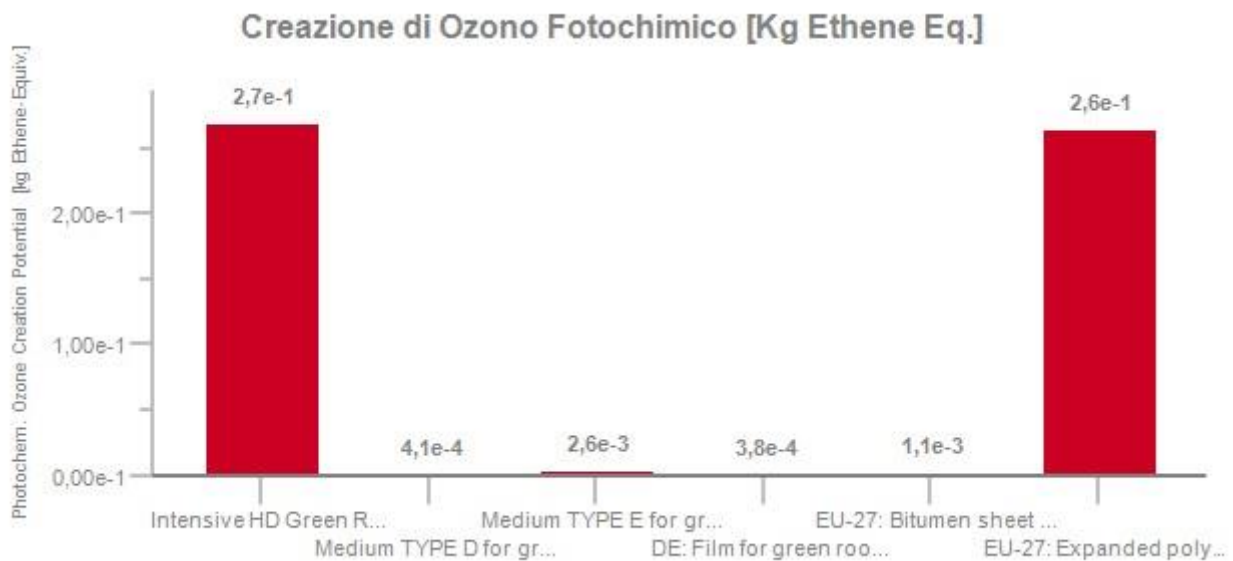


Figura 37 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La Tabella 22 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La Figura 38 mostra invece l'incremento della domanda di energia primaria al variare dello scenario di analisi.

Tabella 22 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO D ed E per lo scenario di default

	Intensive HD Green Roof TYPE D	Medium TYPE D for green roofs	Medium TYPE E for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,54E+003	1,64E+000	9,31E-001	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003
Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,52E+001	1,19E-001	8,42E-002	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001

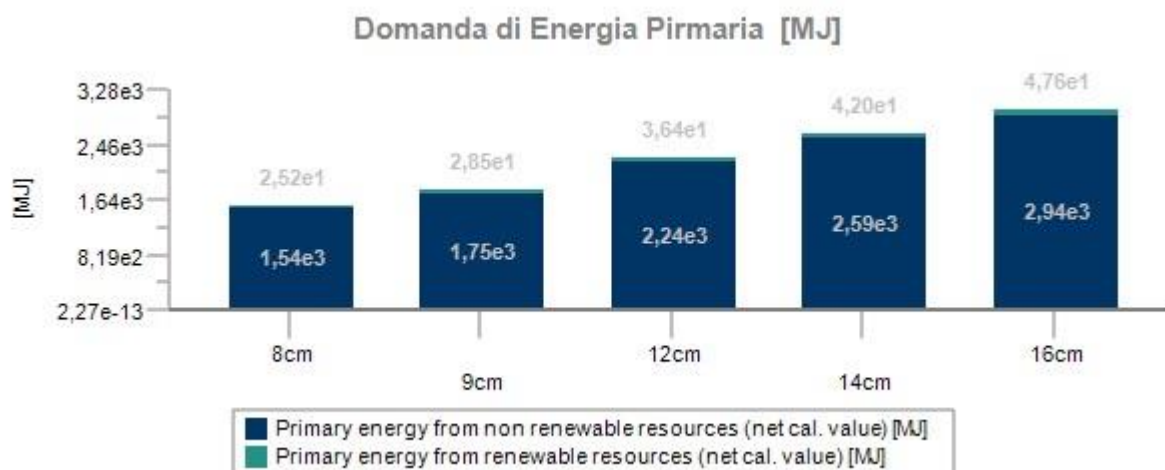


Figura 38 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO D ed E per i diversi scenari a confronto

La Tabella 23 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 39 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 23 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C – scenario di default 8cm

	Intensive HD Green Roof TYPE D	Medium TYPE D for green roofs	Medium TYPE E for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Non renewable energy resources	1,54E+003	1,64E+000	9,31E-001	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,76E+002	1,40E+000	7,27E-001	6,12E+000	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	3,99E+001	3,09E-002	3,42E-002	5,80E-001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	1,51E+001	2,16E-002	2,43E-002	6,34E-001	8,12E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	4,80E+002	1,45E-001	8,97E-002	7,42E+000	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	1,62E-001	2,75E-004	3,12E-004	5,34E-004	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	3,11E+001	4,91E-002	5,54E-002	6,91E-001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,52E+001	1,19E-001	8,42E-002	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,64E-001	4,36E-004	4,84E-004	6,98E-004	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	6,07E+000	9,67E-003	1,06E-002	9,27E-002	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,24E+001	9,93E-002	6,20E-002	6,56E-001	6,90E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	1,02E-011	1,45E-014	1,64E-014	4,68E-013	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	6,45E+000	9,81E-003	1,11E-002	2,01E-001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,70E+002	2,56E+000	1,40E+000	8,54E+000	5,73E+000	2,52E+002

Uso di Risorse energetiche [NCV]

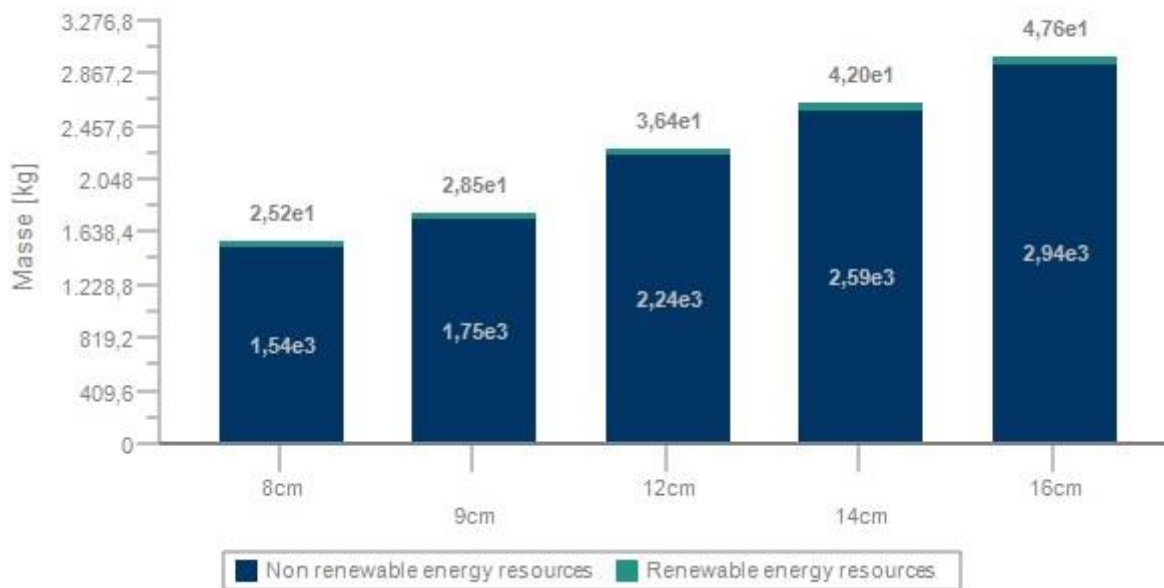


Figura 39 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO D ed E per gli scenari a confronto

2.8.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 24 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default 8cm riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 24 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default 8cm

	Intensive HD Green Roof TYPE D	Medium TYPE D for green roofs	Medium TYPE E for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Carbon dioxide	4,36E+001	1,18E-001	6,50E-002	5,57E-001	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	2,20E+001	2,34E+000	1,88E+001	3,09E-002	4,35E-002	7,67E-001

2.8.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 31-Figura 32-Figura 3-Figura 33-Figura 34-Figura 35-Figura 36-Figura 37 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO D ed E espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo ad esclusione delle categorie di danno *Riscaldamento Globale GWP*, *Acidificazione del Suolo e delle Acque AP* ed *Eutrofizzazione EP* per le quali risultai significativi i contributi all'impatto totale del substrato vegetativo con alto contenuto di compost di Tipo E pari al 38%, al 60% e al 38% rispettivamente. Al medesimo processo sono associate anche l'85% delle emissioni aria di CO₂ di origine biotica.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.9 Copertura a verde intensivo - TIPO F

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo intensivo ad alta densità, caratterizzato da un *medium* di Tipo F costituito da un mix di materiali inerti che conferiscono al substrato una densità pari a 950kg/m² e nello specifico:

- 60% di Lapillo
- 25% di Pomice
- 15% di Torba

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.9.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 25 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	82	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0123	-
unità dichiarata	1	mq

La Figura 40 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

Extensive HD Green Roof TYPE F

GaBi piano di processo: Mass [kg]



Figura 40 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F - scenario di default 8cm

2.9.2 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 26 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F per lo scenario di default

	Extensive HD Green Roof TYPE F	Medium TYPE F for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)

Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	2,44E-008	1,48E-006	5,44E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,61E+003	1,00E+002	1,47E+001	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,02E-001	2,71E-003	1,18E-003	7,41E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	9,76E-003	5,92E-004	1,96E-004	5,59E-004	8,41E-003
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	4,83E+001	3,15E-001	6,04E-001	1,47E+000	4,59E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	1,31E-011	6,67E-011	2,63E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	2,10E-004	3,79E-004	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 27 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	2,15E-005	2,60E-005	2,92E-005	3,23E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,61E+003	1,81E+003	2,29E+003	2,64E+003	2,98E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,02E-001	1,16E-001	1,48E-001	1,71E-001	1,94E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	9,76E-003	1,10E-002	1,40E-002	1,61E-002	1,82E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	4,83E+001	5,52E+001	7,13E+001	8,27E+001	9,42E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	3,61E-009	4,60E-009	5,31E-009	6,02E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,63E-001	3,02E-001	3,93E-001	4,58E-001	5,24E-001

Riscaldamento Globale [kg CO₂eq.]

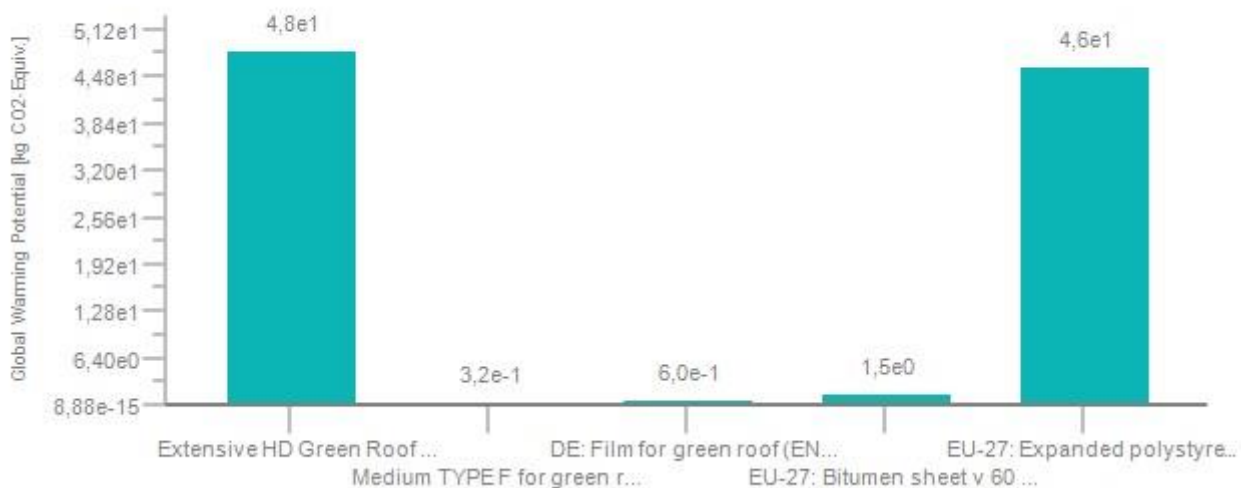


Figura 41 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq. - Scenario 8cm

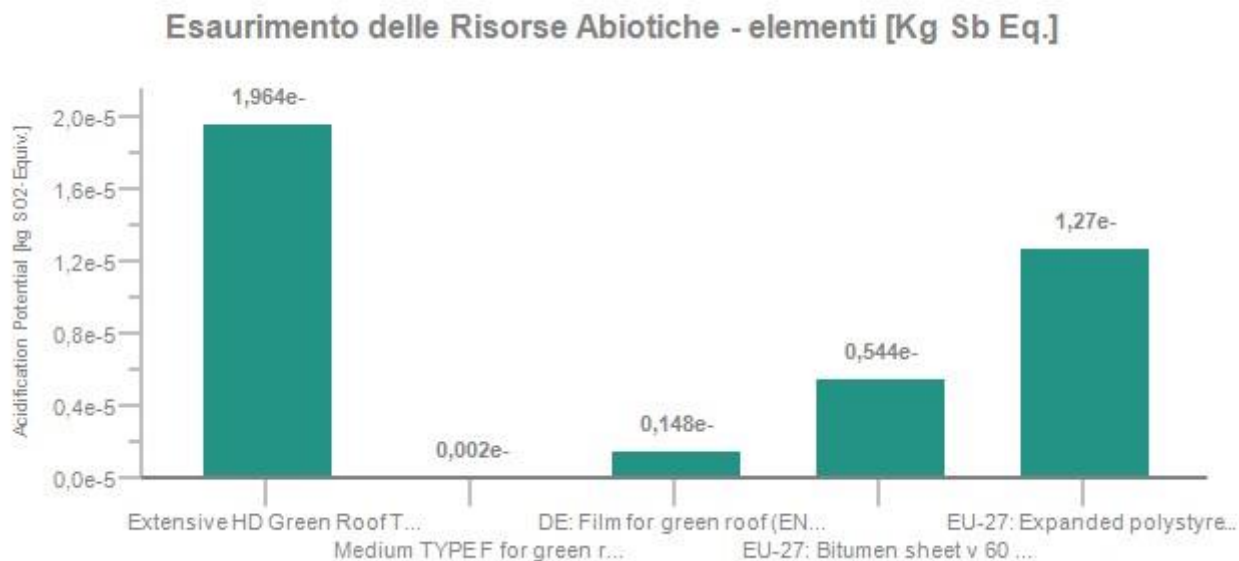


Figura 42 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

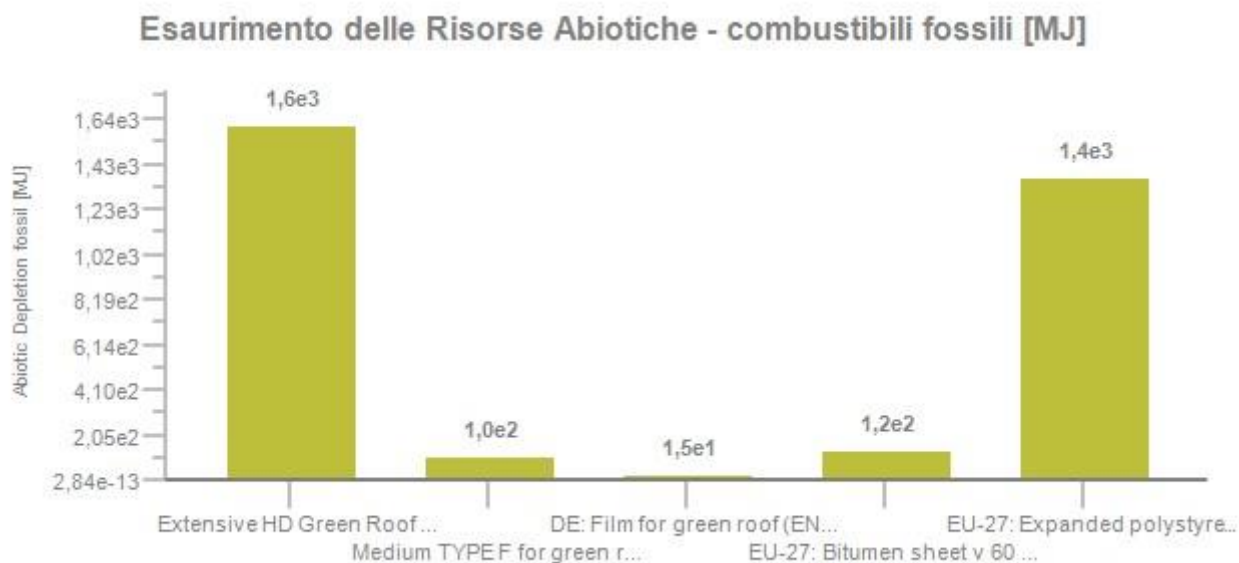


Figura 43 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

Acidificazione del Suolo e delle Acque [Kg SO₂ Eq.]

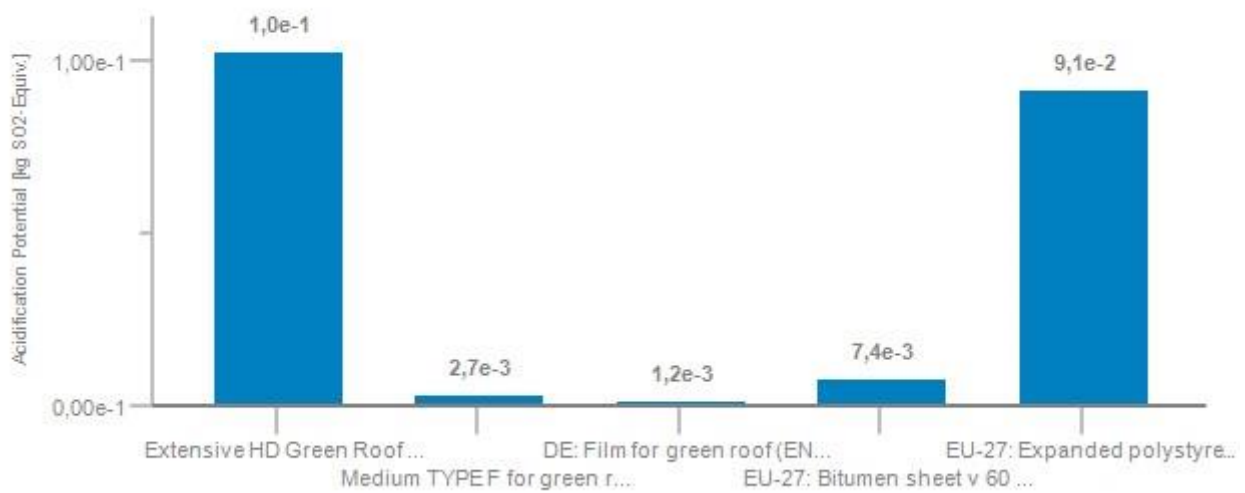


Figura 44 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO₂ Eq. - Scenario 8cm

Eutrofizzazione [Kg (PO₄)-3 Eq.]

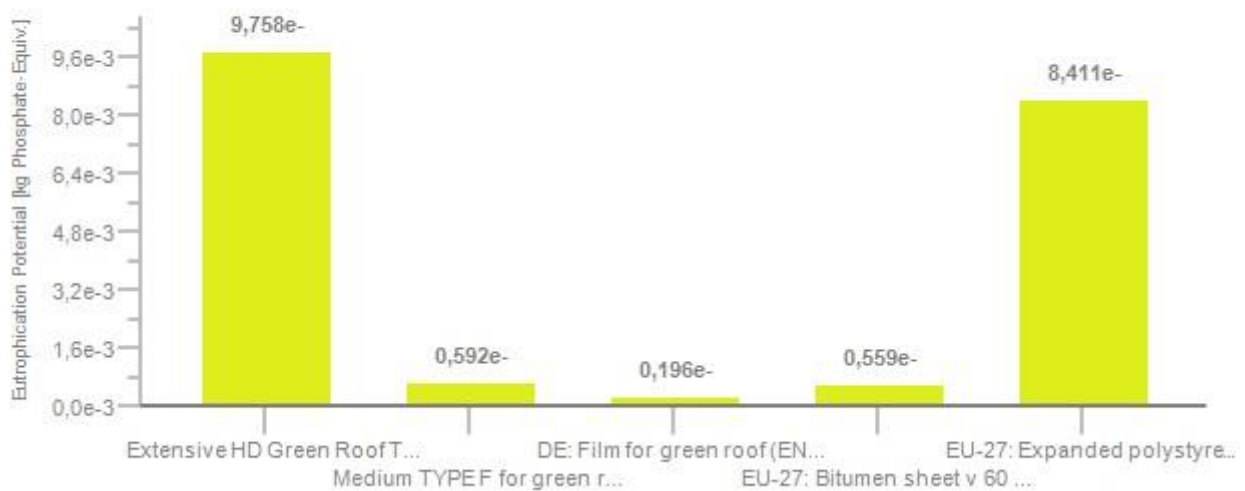


Figura 45 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)⁻³ Eq. - Scenario 8cm

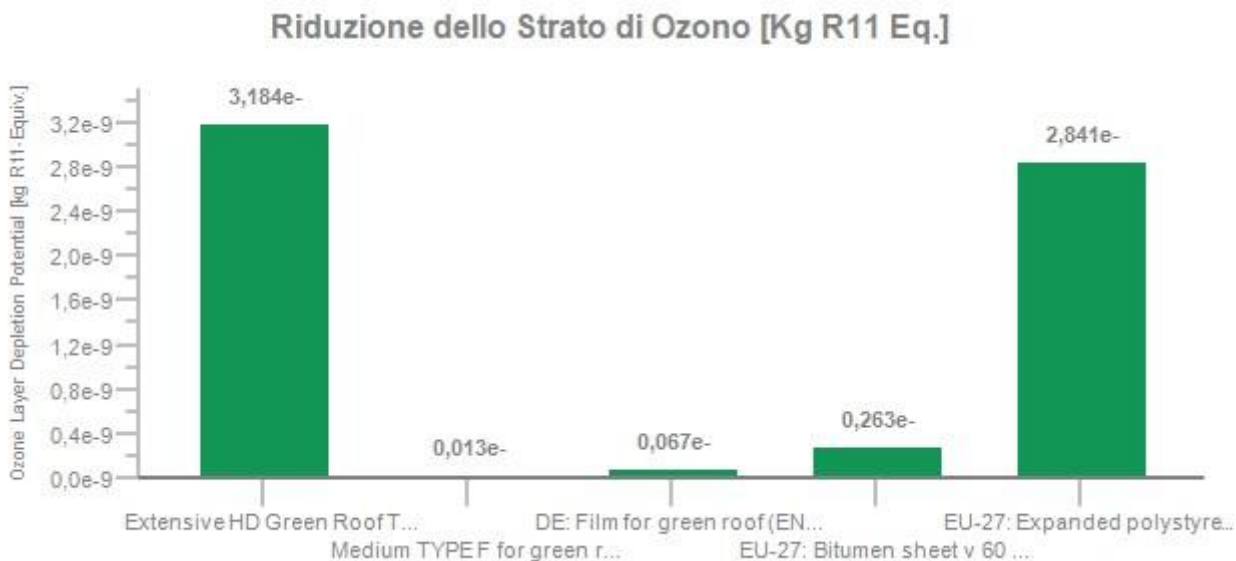


Figura 46 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

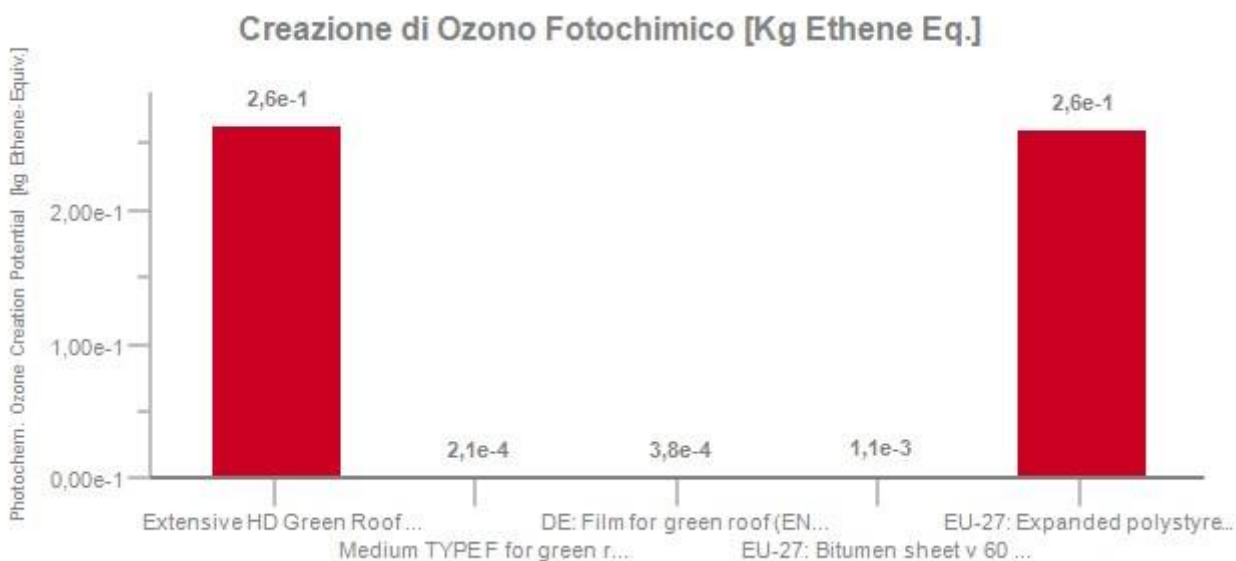


Figura 47 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La Tabella 28 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La Figura 48 mostra invece l'incremento della domanda di energia primaria al variare dello scenario di analisi.

Tabella 28 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F per lo scenario di default

	Extensive HD Green Roof TYPE F	Medium TYPE F for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,64E+003	1,00E+002	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003

Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,53E+001	3,12E-001	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

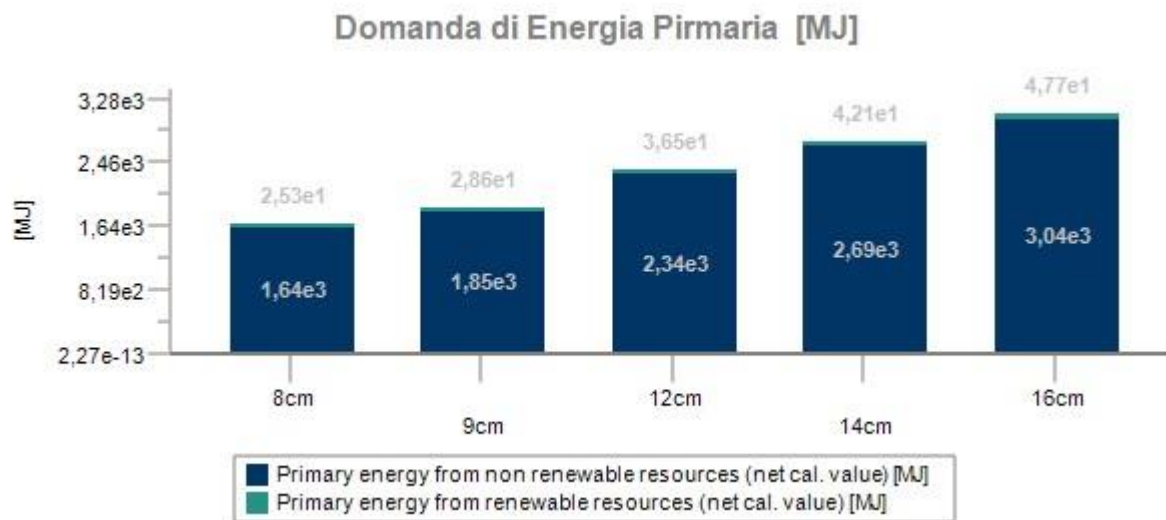


Figura 48 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F per i diversi scenari a confronto

La Tabella 17 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 49 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 29 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F – scenario di default 8cm

	Extensive HD Green Roof TYPE F	Medium TYPE F for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Non renewable energy resources	1,64E+003	1,00E+002	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,78E+002	3,70E+000	6,12E+000	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	3,99E+001	7,88E-002	5,80E-001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	1,51E+001	5,51E-002	6,34E-001	8,12E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	4,80E+002	3,82E-001	7,42E+000	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	9,59E+001	9,58E+001	5,34E-004	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	3,11E+001	1,25E-001	6,91E-001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,53E+001	3,12E-001	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,65E-001	1,11E-003	6,98E-004	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	6,08E+000	2,47E-002	9,27E-002	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,25E+001	2,62E-001	6,56E-001	6,90E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	1,02E-011	3,68E-014	4,68E-013	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	6,46E+000	2,50E-002	2,01E-001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,73E+002	6,79E+000	8,54E+000	5,73E+000	2,52E+002

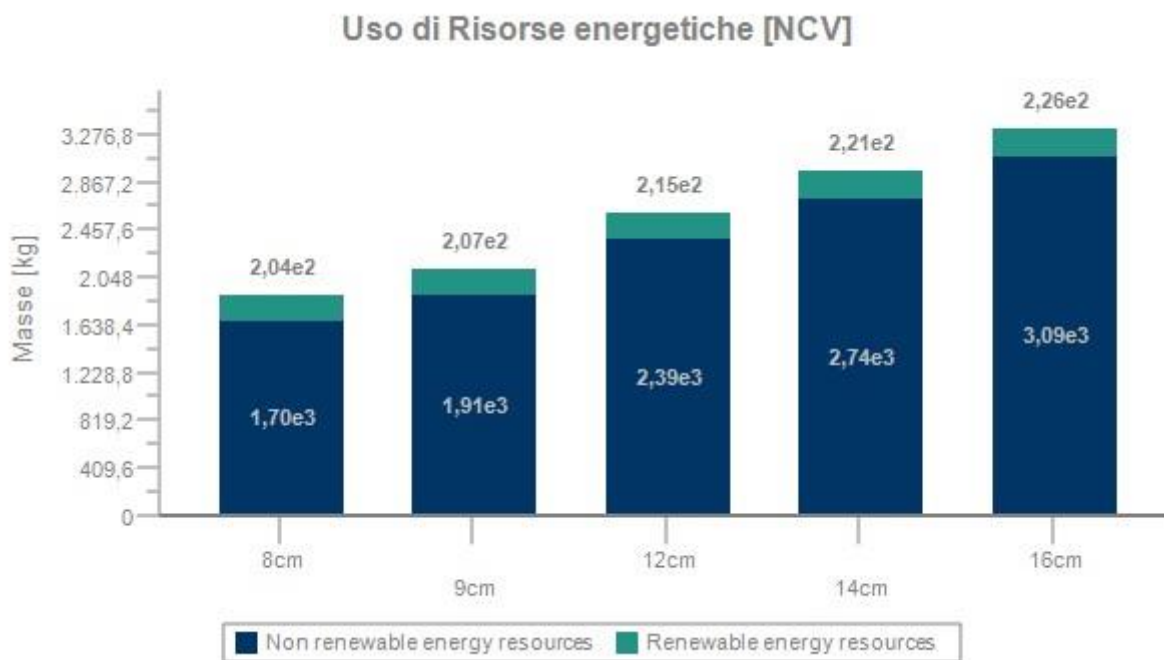


Figura 49 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F per gli scenari a confronto

2.9.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 30 riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 30 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C per lo scenario di default 8cm

	Extensive HD Green Roof TYPE F	Medium TYPE F for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Carbon dioxide	5,34E+001	5,57E-001	9,98E+000	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	2,61E+000	3,09E-002	1,76E+000	4,35E-002	7,67E-001

2.9.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 41-Figura 42-Figura 3-Figura 43-Figura 44-Figura 45-Figura 46-Figura 47 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO F espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.10 Copertura a verde estensivo - TIPO G

Oggetto della analisi è un sistema di copertura a verde di tipo estensivo ad alta densità, caratterizzato da un *medium* di TIPO G costituito da un mix di materiali inerti e fibre vegetali, che conferiscono al substrato una densità pari a 1350kg/m² e nello specifico:

- 45% di fibre di Cocco

- 25% di Perlite
- 15% di Pomice
- 15% di Ghiaietto

Gli scenari alternativi sono stati calcolati per gli spessori di 8-9-12-14-16 cm di strato isolante in EPS pari a trasmittanze complessive di 0,33-0,31-0,24-0,21-0,18 W/m²K tenendo conto di una tolleranza pari a ±5%.

2.10.1 Unità dichiarata

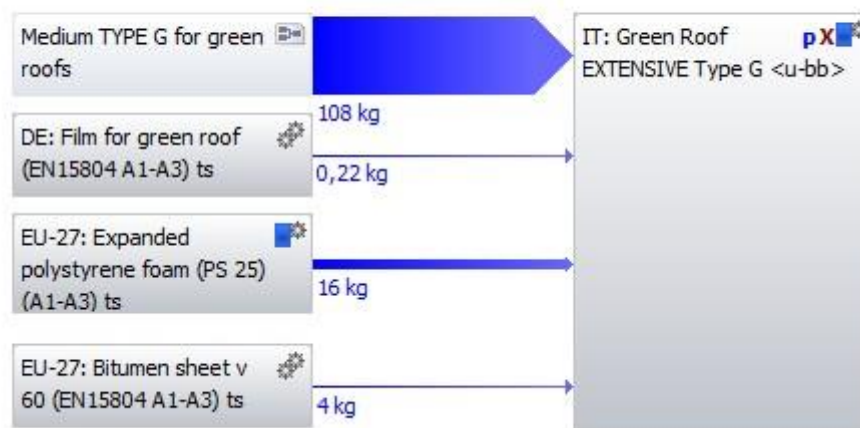
L'unità dichiarata è pari a 1 mq di tetto verde incluso il *medium*, lo strato antiradice, lo strato drenante e isolante e la barriera impermeabile. Il *sedum* non è incluso nella analisi, così come gli strati inferiori del pacchetto di copertura (solaio, eventuali strati isolanti accessori e intonaco) in quanto strati specifici relativi a configurazioni progettuali alternative che non modificano la prestazione ambientale del pacchetto verde.

Tabella 31 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	114	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0087	-
unità dichiarata	1	mq

Extensive Renewable Green Roof TYPE G

GaBi piano di processo: Mass [kg]



La

Figura 50 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

Extensive Renewable Green Roof TYPE G

GaBi piano di processo: Mass [kg]

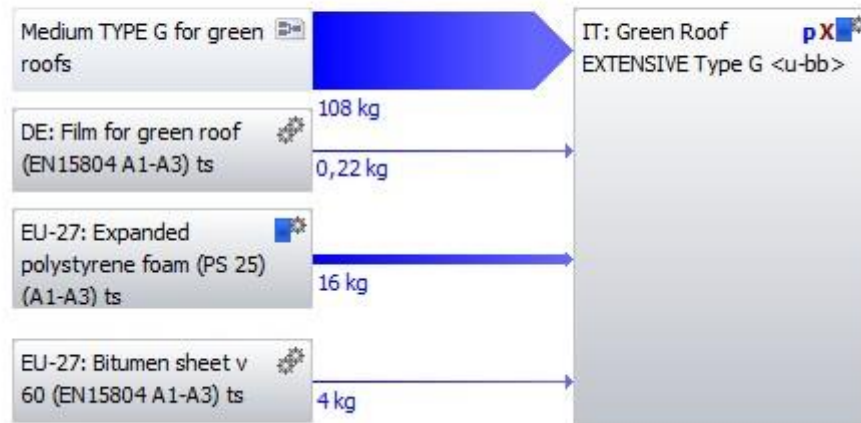


Figura 50 Schema del piano LCA per un Tetto Verde Intensivo con Medium di TIPO C - scenario di default 8cm

2.10.2 Parametri descrittivi dell’impatto ambientale e dell’uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la tipologia analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all’impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 32 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per lo scenario di default

	Extensive Renewable Green Roof TYPE G	Medium TYPE G for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	2,34E-008	1,48E-006	5,44E-006	1,27E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	2,08E+000	1,47E+001	1,24E+002	1,37E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,01E-001	1,03E-003	1,18E-003	7,41E-003	9,12E-002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	9,39E-003	2,28E-004	1,96E-004	5,59E-004	8,41E-003
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,81E+001	1,65E-001	6,04E-001	1,47E+000	4,59E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	1,19E-011	6,67E-011	2,63E-010	2,84E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,62E-001	-1,00E-005	3,79E-004	1,12E-003	2,61E-001

Tabella 33 Impatto ambientale relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per i cinque scenari a confronto

	8 cm	9 cm	12 cm	14 cm	16 cm
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,96E-005	2,15E-005	2,60E-005	2,92E-005	3,23E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,51E+003	1,72E+003	2,20E+003	2,54E+003	2,88E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,01E-001	1,14E-001	1,46E-001	1,69E-001	1,92E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	9,39E-003	1,07E-002	1,36E-002	1,57E-002	1,78E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	4,81E+001	5,50E+001	7,11E+001	8,26E+001	9,41E+001
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,18E-009	3,61E-009	4,60E-009	5,31E-009	6,02E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,62E-001	3,02E-001	3,93E-001	4,58E-001	5,23E-001

Riscaldamento Globale [kg CO₂eq.]

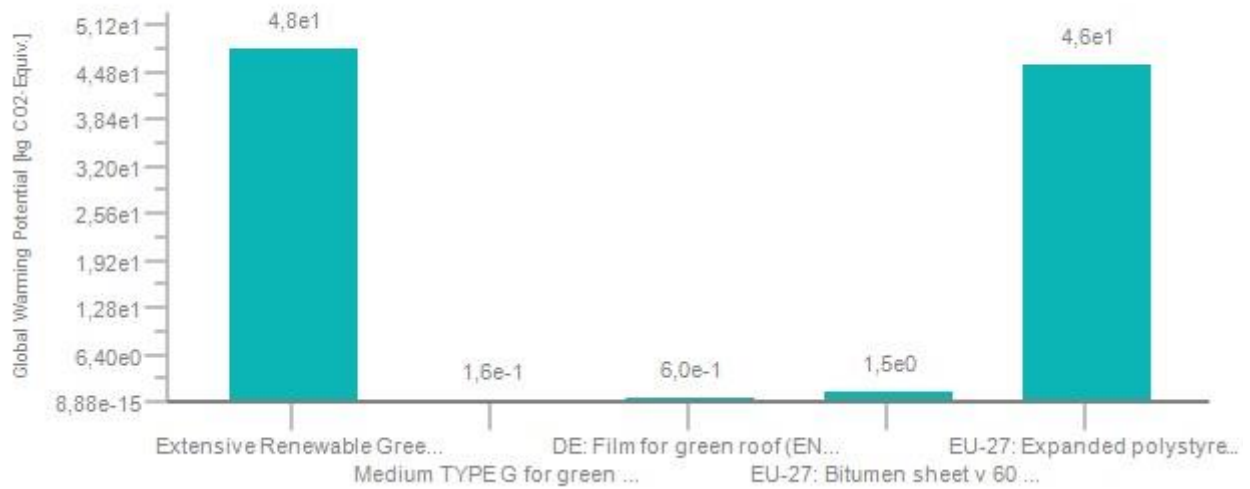


Figura 51 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq. - Scenario 8cm

Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi [Kg Sb Eq.]

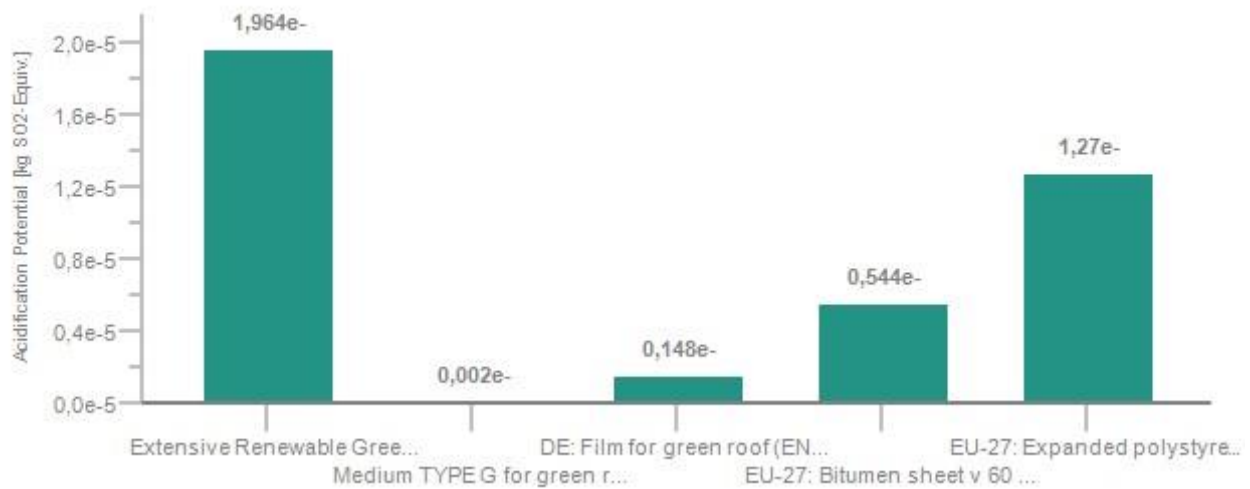


Figura 52 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq. - Scenario 8cm

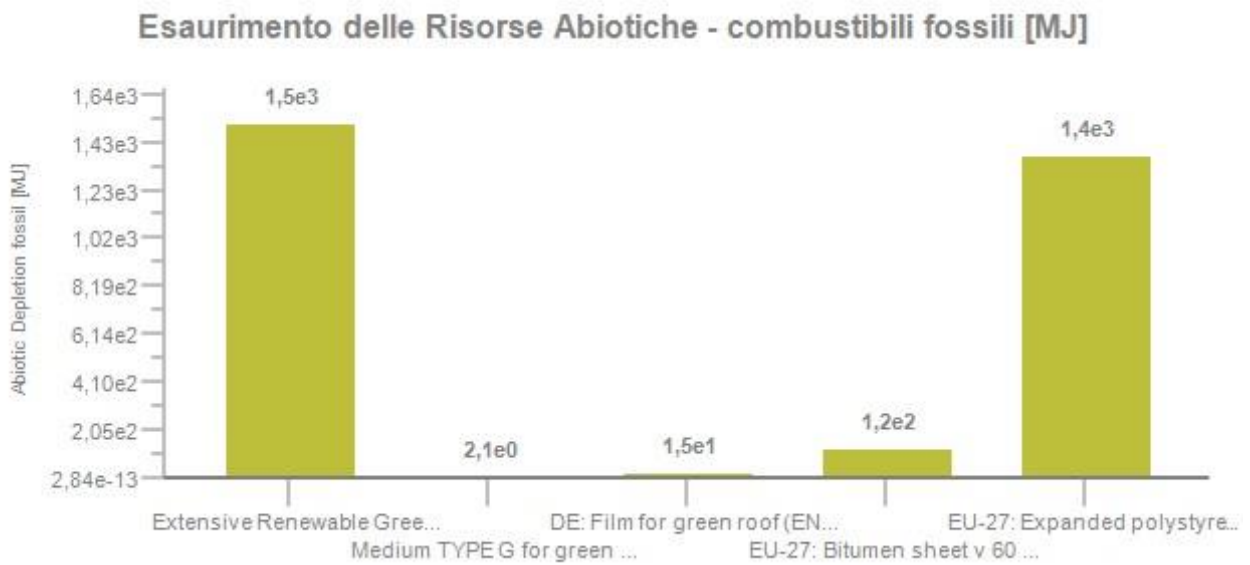


Figura 53 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ. - Scenario 8cm

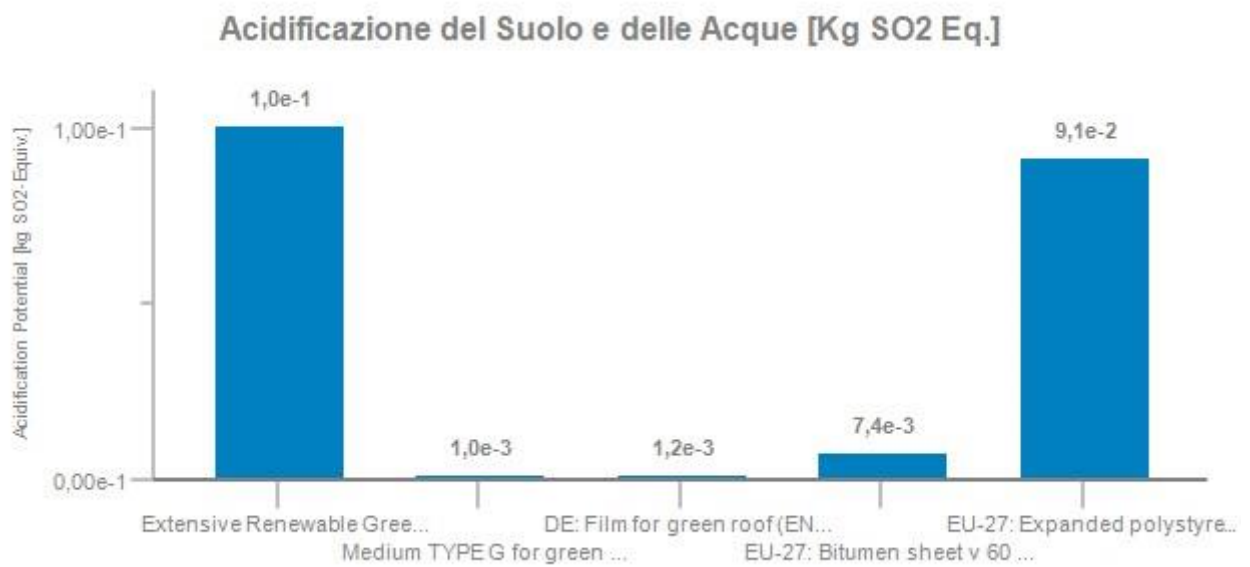


Figura 54 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO2 Eq. - Scenario 8cm

Eutrofizzazione [Kg (PO₄)-3 Eq.]

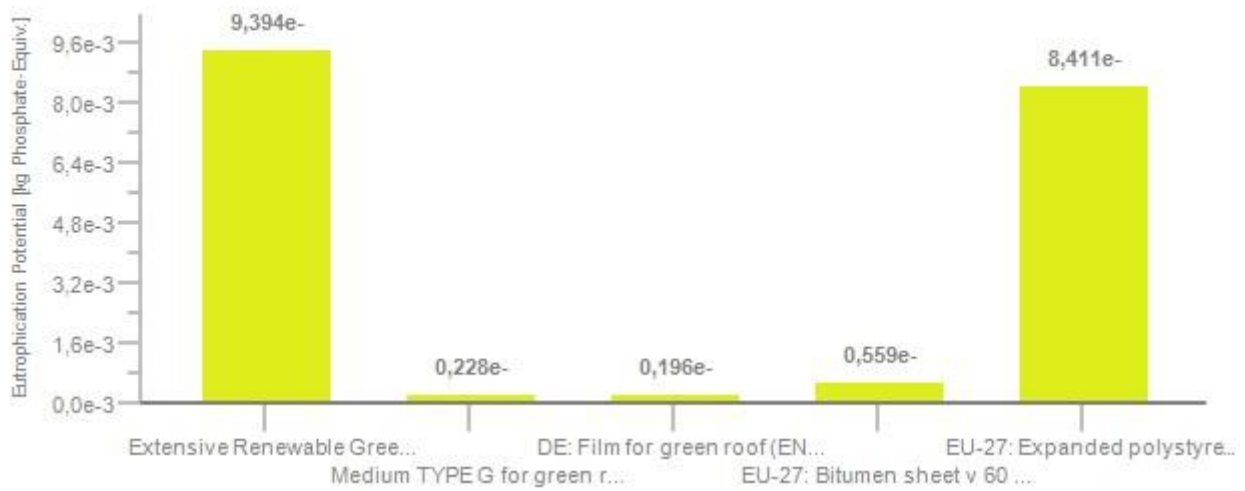


Figura 55 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)³ Eq. - Scenario 8cm

Riduzione dello Strato di Ozono [Kg R11 Eq.]

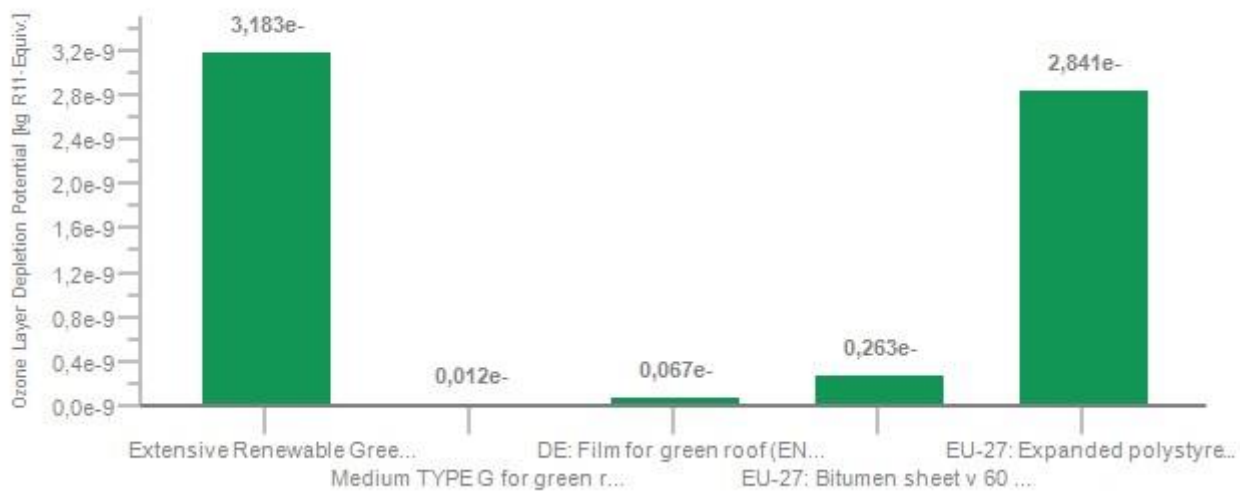


Figura 56 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq. - Scenario 8cm

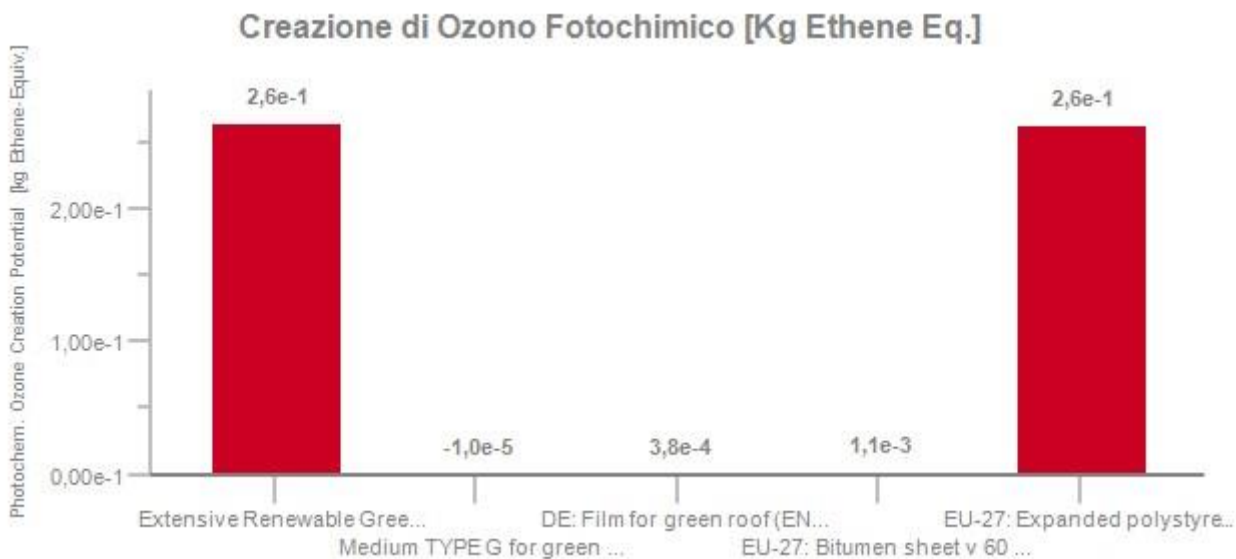


Figura 57 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq. - Scenario 8cm

La Tabella 34 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La Figura 58 mostra invece l'incremento della domanda di energia primaria al variare dello scenario di analisi.

Tabella 34 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per lo scenario di default

	Extensive Renewable Green Roof TYPE G	Medium TYPE G for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,54E+003	2,25E+000	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003
Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,52E+001	2,80E-001	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001

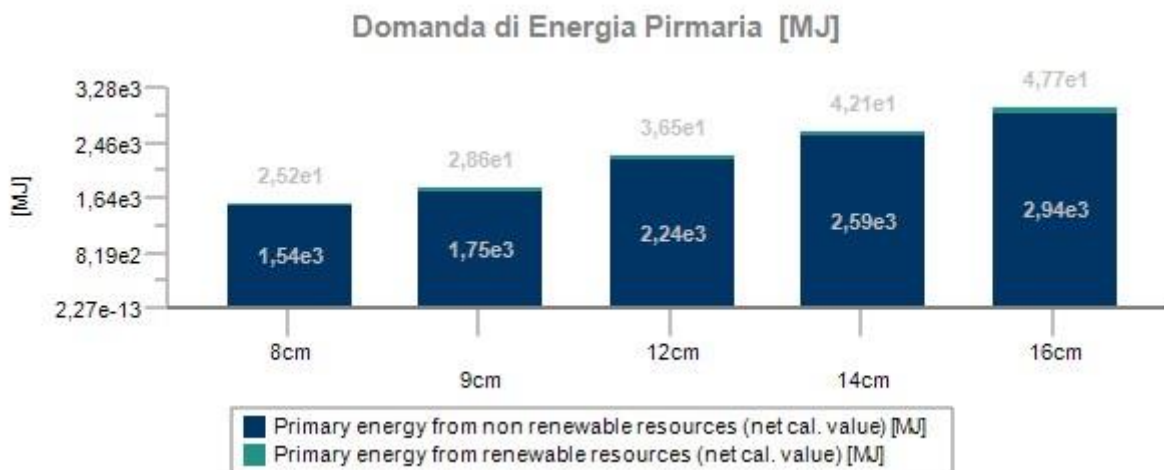


Figura 58 Domanda di Energia primaria relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per i diversi scenari a confronto

La Tabella 35 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 59 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi scenari.

Tabella 35 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G – scenario di default 8cm

	Extensive Renewable Green Roof TYPE G	Medium TYPE G for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Non renewable energy resources	1,54E+003	2,25E+000	1,54E+001	1,26E+002	1,40E+003
Crude oil (resource)	9,76E+002	1,57E+000	6,12E+000	1,10E+002	8,58E+002
Hard coal (resource)	4,00E+001	1,38E-001	5,80E-001	1,20E+000	3,80E+001
Lignite (resource)	1,52E+001	1,38E-001	6,34E-001	8,12E-001	1,36E+001
Natural gas (resource)	4,80E+002	2,37E-001	7,42E+000	1,22E+001	4,60E+002
Peat (resource)	1,61E-001	5,68E-004	5,34E-004	1,02E-002	1,50E-001
Uranium (resource)	3,11E+001	1,66E-001	6,91E-001	2,22E+000	2,81E+001
Renewable energy resources	2,52E+001	2,80E-001	9,50E-001	1,53E+000	2,25E+001
Primary energy from geothermics	2,64E-001	8,75E-004	6,98E-004	2,36E-002	2,39E-001
Primary energy from hydro power	6,08E+000	2,97E-002	9,27E-002	4,49E-001	5,51E+000
Primary energy from solar energy	1,24E+001	2,02E-001	6,56E-001	6,90E-001	1,09E+001
Primary energy from waves	1,03E-011	1,01E-013	4,68E-013	5,40E-013	9,19E-012
Primary energy from wind power	6,48E+000	4,76E-002	2,01E-001	3,69E-001	5,86E+000
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	2,69E+002	3,05E+000	8,54E+000	5,73E+000	2,52E+002

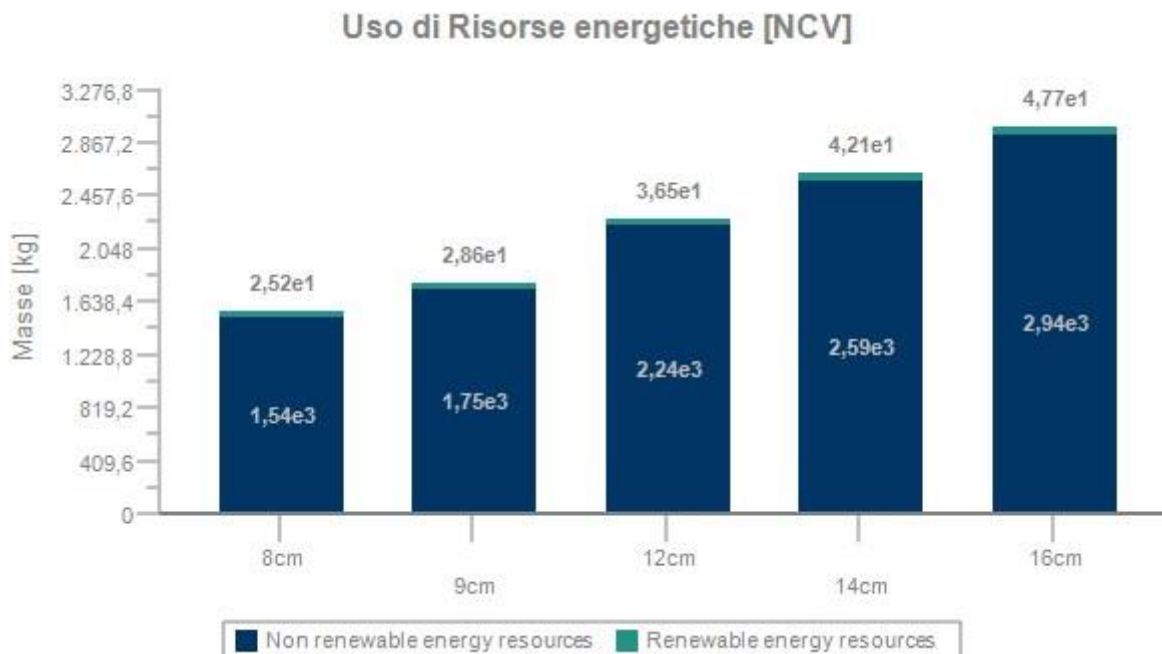


Figura 59 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per gli scenari a confronto

2.10.3 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 36 riporta i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

Tabella 36 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G per lo scenario di default 8cm

	Extensive Renewable Green Roof TYPE G	Medium TYPE G for green roofs	DE: Film for green roof	EU-27: Bitumen sheet v 60	EU-27: Expanded polystyrene foam (PS 25)
Carbon dioxide	5,34E+001	5,57E-001	9,98E+000	1,18E+000	4,17E+001
Carbon dioxide (biotic)	2,61E+000	3,09E-002	1,76E+000	4,35E-002	7,67E-001

2.10.4 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 51 - Figura 52Figura 3-Figura 53-Figura 54-Figura 55-Figura 56-Figura 57 mostrano gli impatti ambientali per 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO G espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dello strato isolante/drenante in EPS che contribuisce in maniera determinante all'impatto ambientale complessivo.

Poiché il *plan* è stato creato utilizzando dati aggregati derivati dalla banca dati GaBi, non è possibile analizzare in ulteriore dettaglio i dati di impatto individuando i processi elementari che, all'interno di ogni singolo elemento, contribuiscono alla determinazione del danno ossia, in questo caso, individuare la singola fase del processo di produzione dell'EPS che fissa il valore dell'impatto.

2.11 Analisi dei Medium a confronto

Il confronto tra i 7 diversi medium (Tabella 37) è stato condotto per 1 mq di superficie con spessore unitario pari a 1 cm.

In linea generale, le categorie di danno che maggiormente concorrono a determinare l'impatto ambientale del *medium* sono l'*Esaurimento delle risorse abiotiche fossili ADPf*, il *Potenziale di Riscaldamento Globale GWP*, e il *Potenziale di Acidificazione AP*, come evidenziato in Figura 60.

L'analisi degli elementi che, in ogni diversa composizione, contribuiscono ad innalzare il valore di questi indicatori in maniera significativa, diventa allora particolarmente importante in fase progettuale per la corretta composizione del mix atta a soddisfare le prestazioni specifiche per la realizzazione di coperture a verdi e minimizzandone al contempo l'impatto ambientale.

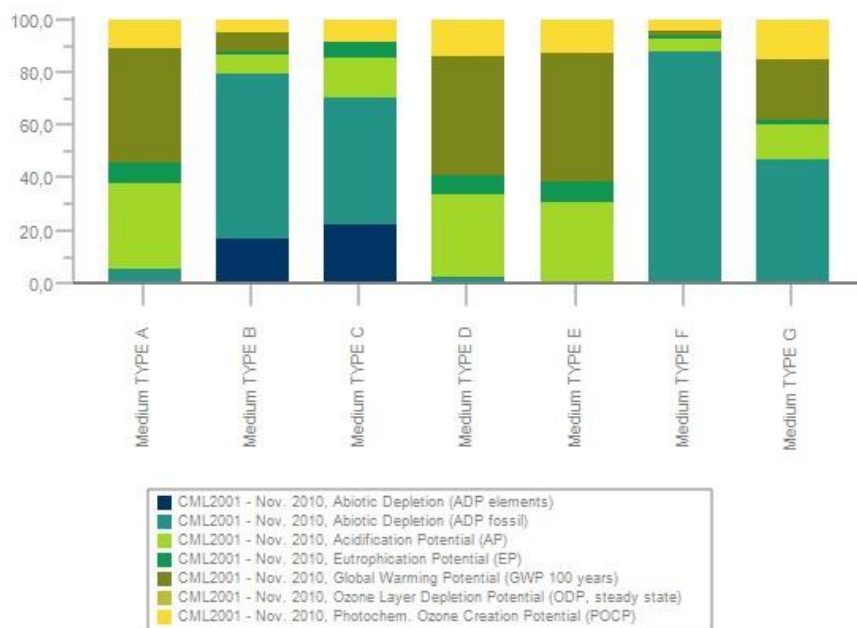


Figura 60 analisi a confronto degli impatti ambientali delle 7 diverse tipologie di Medium

In linea generale il medium di TIPO E (20% Pomice; 80% Compost) risulta essere quello a maggior impatto per un numero maggiore di categorie di danno pur presentando, al contempo, gli impatti minori relativamente alla categoria *Esaurimento delle risorse Abiotiche*, sia elementi che fossili, dove risultano particolarmente gravi gli impatti dei medium TIPO C e TIPO G rispettivamente

Tabella 37 Parametri descrittivi degli impatti ambientali dei 7 medium a confronto

	Medium TYPE A	Medium TYPE B	Medium TYPE C	Medium TYPE D	Medium TYPE E	Medium TYPE F	Medium TYPE G
CML2001 - Nov. 2010, Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	4,80E-09	2,97E-07	1,29E-06	3,10E-09	1,23E-09	3,06E-09	6,89E-08
CML2001 - Nov. 2010, Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	7,01E-01	6,13E+00	1,58E+01	5,31E-01	1,75E-01	1,25E+01	2,01E+01
CML2001 - Nov. 2010, Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,99E-03	3,40E-04	2,42E-03	3,03E-03	1,31E-02	3,38E-04	2,75E-03
CML2001 - Nov. 2010, Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	5,11E-04	8,28E-05	9,84E-04	7,90E-04	3,47E-03	7,40E-05	4,08E-04
CML2001 - Nov. 2010, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	8,13E-01	1,05E-01	-5,30E-01	1,34E+00	6,27E+00	3,94E-02	1,46E+00
CML2001 - Nov. 2010, Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	4,30E-12	7,01E-13	7,46E-11	1,72E-12	1,18E-12	1,64E-12	4,60E-11
CML2001 - Nov. 2010, Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	6,70E-05	2,09E-05	1,32E-04	1,35E-04	5,29E-04	2,63E-05	3,12E-04

Il componente responsabile degli alti impatti del medium TIPO E è la componente di Pomice che determina il valore di tutti gli indicatori, ad esclusione del *Potenziale di Riscaldamento Globale GWP*, fissato invece dalla presenza di una alta percentuale di Compost nel mix.

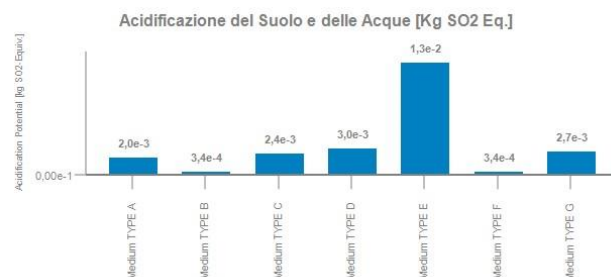
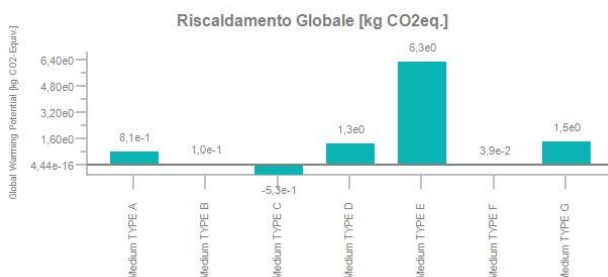
Il Medium di tipo C (80% Laterizi riciclati; 10% Pomice; 2% Torba; 8% Manto erboso) è stato modellato sulla base di un record aggregato della banca dati GaBi e pertanto non è possibile analizzare nel dettaglio i sub-processi e il loro contributo all'impatto.

Il valore dell'indicatore *Esaurimento delle risorse Abiotiche – fossili* assume particolare rilevanza nel medium TIPO G¹ (45%, Cocco, 25% Perlite, 15% Pomice, 15% Ghiaietto) a causa della presenza nel mix di Perlite, che determina anche il valore degli impatti relativi alle categorie *Potenziale di Acidificazione AP*, *Potenziale di Riscaldamento Globale GWP* e *Riduzione dello Strato di Ozono OP*.

I medium di TIPO B (20% Pomice, 63% Lapillo di lava, 1% Zeolite, 14% Torba, 2% Compost) e F (25% Pomice, 60% Lapillo di lava, 15% Torba) risultano nel confronto i meno impattanti.

Nel medium TIPO B, la quasi totalità delle categorie di danno analizzate (ad esclusione del GWP) sono dominate dal flusso di Zeolite: pertanto, la riduzione o la sostituzione della Zeolite con altro materiale vulcanico, porterebbe ad un ulteriore miglioramento della prestazione ambientale complessiva.

Nel medium di tipo F gli impatti sono ovviamente determinati dalla presenza di Lapilli di lava e Pomice, con prevalenza del contributo dei Lapilli, ad esclusione della categoria *Esaurimento delle Risorse Abiotiche fossili ADPf*, condizionata dall'impiego di torba nel mix.



¹ Si rammenta che nella valutazione degli impatti relativi al medium G, il contributo della fibra di cocco è stato trascurato per assenza di dati LCI



Figura 61 Parametri descrittivi degli impatti ambientali dei 7 medium a confronto

I consumi di energia primaria (Figura 62) sono particolarmente rilevanti per i medium di TIPO c e TIPO F e G. Mentre per il medium TIPO C si può solo ipotizzare che la domanda di energia da fonti non rinnovabili provenga dal processo di frantumazione del laterizio di recupero, nel caso dei medium F l'alto consumo di energia primaria da fonti non rinnovabili deriva dall'impiego di Torba nel mix mentre, nel medium di TIPO G, è la perlite a comportare il massimo consumo di energia primaria. IL consumo di energie primarie rinnovabili, relativamente al medium TIPO C, deriva dal particolare mix energetico utilizzato nella generazione del dato aggregato (Germania).

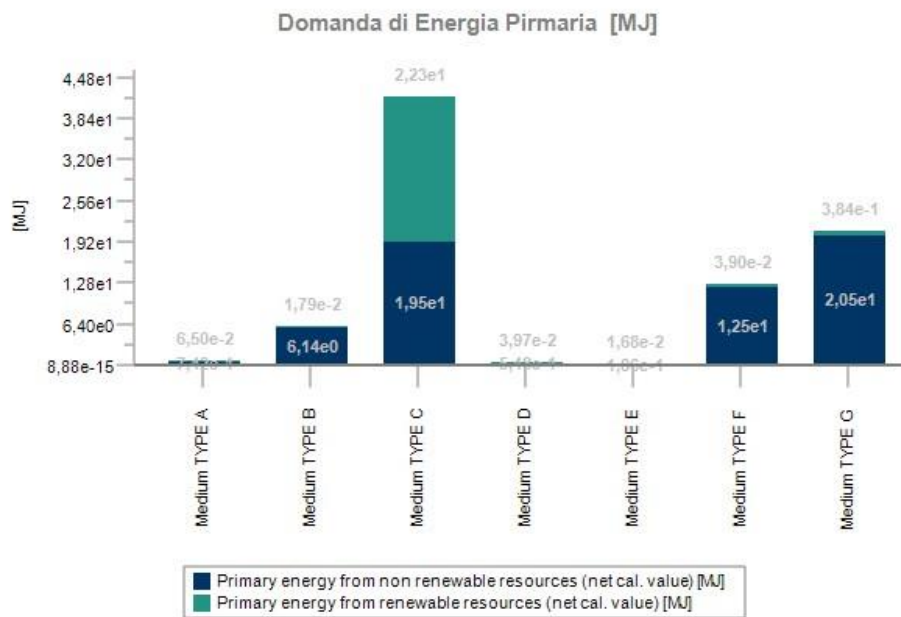


Figura 62 Domanda di energia primaria per il 7 medium a confronto

Le emissioni di CO₂ del medium E sono primariamente legate all'utilizzo del compost mentre nel medium TIPO G è la perlite il flusso responsabile delle emissioni di CO₂. Non è possibile ricostruire il processo responsabile delle emissioni nel medium C.

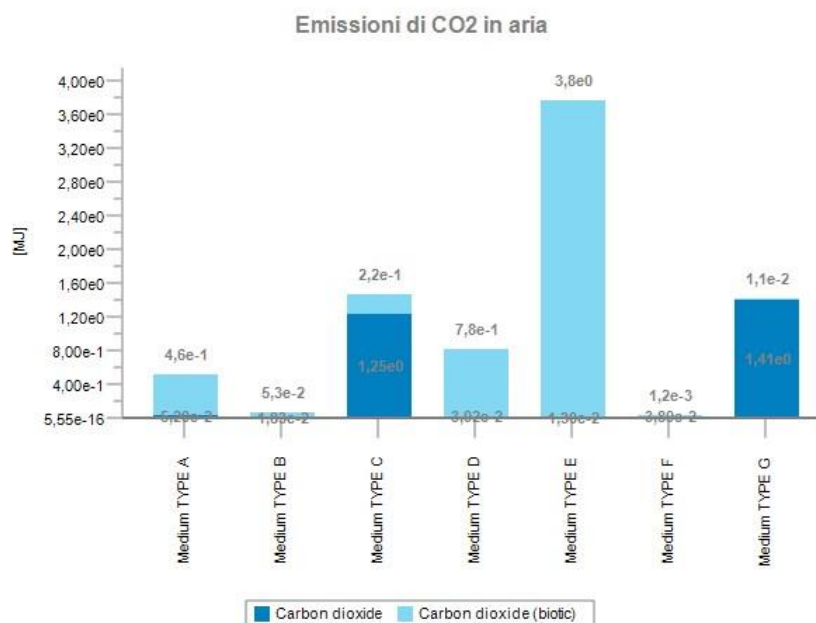


Figura 63 Emissioni di CO₂ per i 7 medium a confronto

3 Descrizione delle attività svolte e risultati – Sistemi di Parete Verde

3.1 Obiettivi

L'obiettivo della analisi LCA condotta sulla parete verde in corso di realizzazione presso la sede ENEA a La Casaccia, è di determinare l'impatto ambientale della soluzione tecnologica specifica.

La parete verde è stata realizzata con struttura portante in scatolari di ferro zincato, collocata a distanza di circa 60cm dalla parete esterna dell'edificio, in modo da garantirne l'ispezione lungo i grigliati pedonali installati ai livelli di piano, cui è possibile accedere tramite scalette ancorate all'edificio.

Ai montanti, sono saldate le staffe di ancoraggio, anch'esse realizzate con scatolari in ferro zincato e la rete metallica di sostegno, realizzata con tondino $\varnothing 6$ e maglia 100x100.

Le staffe portavaso sono realizzate in lamiera zincata presso piegata, a sostegno dei vasi realizzati con resine termoplastiche (PP). Tutte le strutture in ferro sono protette con vernice epossidica

L'impianto di irrigazione, alimentato da una elettropompa autoadescante, è costituito da tubazioni in polietilene ed include due vasche di accumulo da 500lt.

3.2 Confini del Sistema

L'analisi LCA della parete verde è stata condotta secondo l'approccio modulare così come definito dalla norma europea UNI EN 15804.

L'analisi degli impatti nel ciclo di vita ha considerato i flussi in ingresso e uscita dal sistema relativamente alla sola fase di produzione A dei materiali ed in particolare alle fasi:

- A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie prime seconde o dei flussi secondari in ingresso
- A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione
- A3, processo di produzione.

Questi includono l'approvvigionamento di tutti i materiali, prodotti e vettori energetici, gli imballaggi e il trasporto allo stabilimento di produzione, la gestione dei rifiuti fino al raggiungimento dello stato di *end-of-waste* o allo smaltimento all'interno del processo di produzione.

I risultati dell'analisi LCA sono riportati in forma aggregata, ossia i sub-moduli A1, A2, A3 sono considerati quale modulo unico A1-A3.

Gli impatti ambientali derivanti dall'analisi, consentono pertanto di elaborare una Dichiarazione Ambientale di Prodotto del tipo dalla culla al cancello (*cradle to gate*).

3.3 Vita Utile di Riferimento (RSL)

La Vita Utile di Riferimento (RSL) o durabilità del sistema della parete verde, soggetta ad una adeguata manutenzione, è da considerarsi pari a 50 anni.

3.4 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 ml di sviluppo orizzontale di parete verde, di altezza pari a 9,145m, incluso il *medium*, la struttura pedonale di collegamento alla parete dell'edificio, l'impianto di irrigazione incluse le pompe e i serbatoi di accumulo. Il *sedum* non è incluso nella analisi così come, trattandosi di analisi limitata alla sola fase di produzione, non sono stati considerati i consumi di acqua per l'irrigazione e la gestione in uso della parete.

Tabella 38 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
massa	410	kg/m ²
fattore di conversione a 1 kg	0,0024	-
unità dichiarata	1	ml

La Figura 64 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per unità dichiarata.

ENEA Green Wall
GaBi piano di processo Mass [kg]

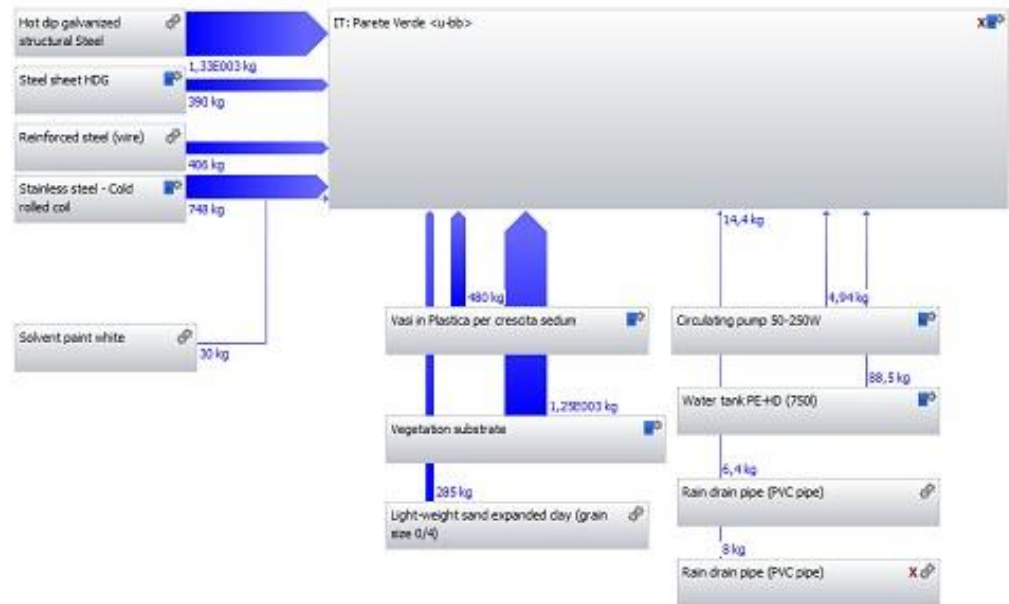


Figura 64 Schema del piano LCA per la Parete Verde ENEA

3.5 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la struttura analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 39 Impatto ambientale relativo a 1 ml di Parete Verde ENEA

	ENE Green Wall	Circulating pump 50-250W	Hot dip galvanized structural Steel	Light-weight sand expanded clay (grain size 0/4)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Reinforced steel (wire)	Solvent paint white	Stainless steel - Cold rolled coil	Steel sheet HDG	Vasi in Plastica per crescita sedum	Vegetation substrate	Water tank PE-HD (750l)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	4,29E-001	3,65E-003	1,91E-001	5,21E-005	1,32E-004	1,65E-004	4,33E-005	6,21E-005	1,62E-001	7,12E-002	2,22E-005	1,15E-004	7,04E-005
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,09E+005	2,93E+002	2,49E+004	1,30E+003	3,09E+002	3,86E+002	2,76E+003	1,75E+003	2,65E+004	1,01E+004	3,20E+004	1,41E+003	7,14E+003
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	4,48E+001	1,35E-001	5,33E+000	6,06E-001	2,38E-002	2,97E-002	6,59E-001	8,08E-001	3,04E+001	3,05E+000	2,99E+000	2,16E-001	6,15E-001
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	2,44E+000	7,57E-003	5,40E-001	3,06E-002	4,45E-003	5,56E-003	5,25E-002	1,69E-002	1,02E+000	2,61E-001	3,57E-001	8,80E-002	5,63E-002
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	7,29E+003	2,35E+001	2,46E+003	9,38E+001	1,51E+001	1,89E+001	2,18E+002	7,34E+001	2,37E+003	8,91E+002	9,44E+002	-4,74E+001	2,35E+002
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	1,84E-004	3,48E-009	2,61E-007	2,18E-009	1,46E-009	1,82E-009	8,98E-008	3,47E-009	1,84E-004	1,71E-008		6,67E-009	6,76E-008
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	4,39E+000	9,08E-003	9,46E-001	4,43E-002	7,97E-003	9,95E-003	6,35E-002	7,89E-002	2,22E+000	4,24E-001	4,47E-001	1,18E-002	1,20E-001

Tabella 40 Consumo di Energia primaria e di combustibili relativo a 1 ml di Parete Verde ENEA

	ENE Green Wall	Circulating pump 50-250W	Hot dip galvanized structural Steel	Light-weight sand expanded clay (grain size 0/4)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Reinforced steel (wire)	Solvent paint white	Stainless steel - Cold rolled coil	Steel sheet HDG	Vasi in Plastica per crescita sedum	Vegetation substrate	Water tank PE-HD (750l)
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,2E+005	3,3E+002	2,7E+004	1,4E+003	3,3E+002	4,1E+002	3,6E+003	1,8E+003	3,3E+004	1,0E+004	3,3E+004	1,7E+003	7,8E+003
Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,4E+004	3,7E+001	1,8E+003	2,0E+002	4,3E+001	5,3E+001	6,4E+002	7,1E+001	7,7E+003	6,1E+002	1,9E+002	2,0E+003	4,7E+002
Use of non renewable secondary fuels (NRSF)	2,73E+000		2,73E+000						-9,13E-005				
Use of renewable secondary fuels (RSF)	2,80E-001		2,80E-001						-2,71E-005				

Tabella 41 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua relativo a 1 m² di Parete Verde ENEA

	ENEA Green Wall	Circulating pump 50-250W	Hot dip galvanized structural Steel	Light-weight sand expanded clay (grain size 0/4)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Reinforced steel (wire)	Solvent paint white	Stainless steel - Cold rolled coil	Steel sheet HDG	Vasi in Plastica per crescita sedum	Vegetation substrate	Water tank PE-HD (750l)
Non renewable energy resources	1,21E+005	3,28E+002	2,66E+004	1,38E+003	3,31E+002	4,14E+002	3,60E+003	1,80E+003	3,33E+004	1,05E+004	3,33E+004	1,74E+003	7,77E+003
Crude oil (resource)	4,15E+004	7,59E+001	2,65E+003	6,72E+002	1,04E+002	1,30E+002	1,70E+002	9,44E+002	1,09E+004	8,76E+002	2,06E+004	1,47E+002	4,34E+003
Hard coal (resource)	3,55E+004	1,05E+002	1,31E+004	1,94E+002	2,57E+001	3,21E+001	7,20E+002	1,12E+002	1,13E+004	8,01E+003	1,09E+003	3,48E+002	3,84E+002
Lignite (resource)	3,35E+003	1,83E+001	1,51E+003	9,15E+001	3,07E+001	3,84E+001	3,51E+002	6,26E+001	2,96E+002	2,17E+002	7,31E-002	4,56E+002	2,72E+002
Natural gas (resource)	2,80E+004	9,38E+001	7,58E+003	3,47E+002	1,49E+002	1,86E+002	1,51E+003	6,29E+002	3,86E+003	9,86E+002	1,03E+004	2,49E+002	2,14E+003
Peat (resource)	5,06E+002	1,24E-001	1,97E+001	5,98E-002	4,71E-003	5,88E-003	4,76E+000	1,59E-001	2,57E+002	5,79E+000	3,95E+000	2,10E+002	3,58E+000
Uranium (resource)	1,23E+004	3,52E+001	1,74E+003	7,12E+001	2,20E+001	2,75E+001	8,40E+002	5,43E+001	6,90E+003	3,70E+002	1,32E+003	3,25E+002	6,34E+002
Renewable energy resources	1,32E+004	3,74E+001	1,81E+003	1,98E+002	4,26E+001	5,32E+001	6,36E+002	7,09E+001	7,08E+003	6,08E+002	1,59E+002	2,00E+003	4,75E+002
Primary energy from geothermics	3,04E+001	6,76E-001	1,84E+000	8,52E-002	4,05E-003	5,06E-003	7,24E+000	3,47E-001	2,89E+000	2,83E-001	1,14E+001	4,77E-002	5,50E+000
Primary energy from hydro power	5,60E+003	1,22E+001	6,24E+002	1,89E+001	3,51E+000	4,38E+000	1,65E+002	1,18E+001	4,21E+003	2,41E+002	1,41E+002	5,01E+001	1,21E+002
Primary energy from solar energy	6,13E+003	1,73E+001	6,92E+002	1,52E+002	3,00E+001	3,75E+001	2,97E+002	4,13E+001	2,58E+003	2,43E+002	4,21E-002	1,81E+003	2,22E+002
Primary energy from waves	2,35E-001	1,18E-011		6,82E-011	2,33E-011	2,91E-011	2,41E-010	3,74E-011	7,68E-004	1,51E-010	2,35E-001	3,47E-010	1,86E-010
Primary energy from wind power	1,41E+003	7,30E+000	4,96E+002	2,76E+001	9,06E+000	1,13E+001	1,67E+002	1,75E+001	2,85E+002	1,25E+002	5,41E+000	1,34E+002	1,27E+002
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	5,0E+004	2,0E+002	1,2E+004	4,6E+002	3,5E+002	4,3E+002	2,3E+003	4,2E+002	4,4E+003	5,3E+003	1,5E+003	2,0E+004	1,9E+003

Tabella 42 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 m² di Parete Verde ENEA

	ENEA Green Wall	Circulating pump 50-250W	Hot dip galvanized structural Steel	Light-weight sand expanded clay (grain size 0/4)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Rain drain pipe (PVC pipe)	Reinforced steel (wire)	Solvent paint white	Stainless steel - Cold rolled coil	Steel sheet HDG	Vasi in Plastica per crescita sedum	Vegetation substrate	Water tank PE-HD (750l)
Carbon dioxide	7,2E+003	2,1E+001	2,3E+003	9,6E+001	1,4E+001	1,7E+001	2,0E+002	6,7E+001	2,4E+003	8,6E+002	8,0E+002	1,1E+002	2,1E+002
Carbon dioxide (biotic)	1,5E+002	1,4E+000	6,3E+001	4,9E+000	1,7E+000	2,2E+000	2,0E+001	3,5E+000	3,9E-001	1,7E+001		2,0E+001	1,4E+001

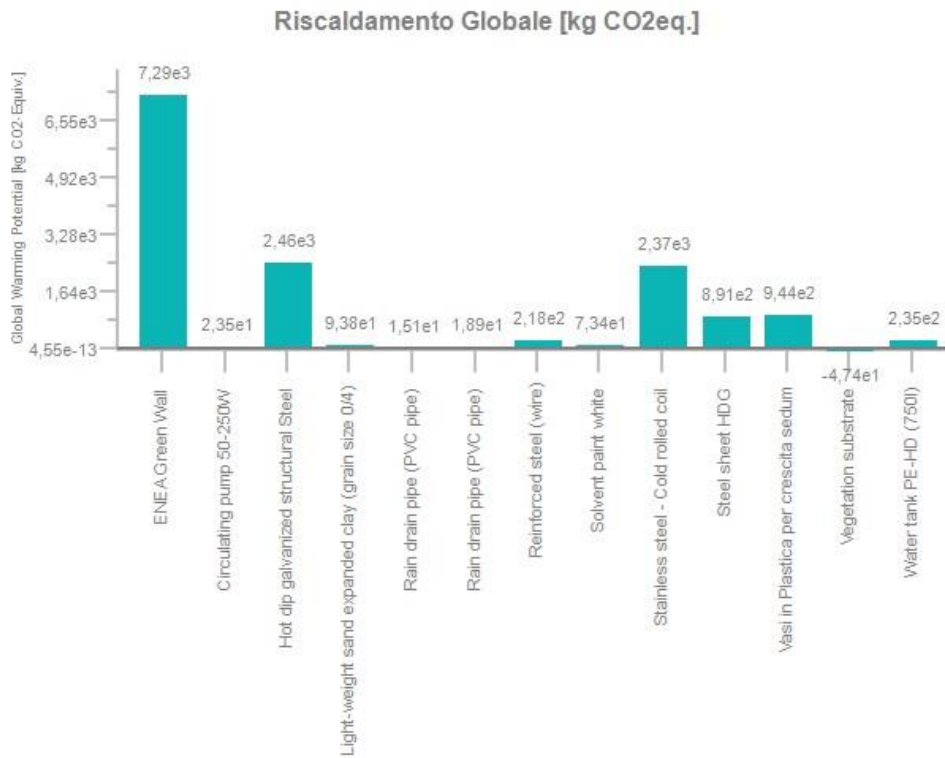


Figura 65 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq.

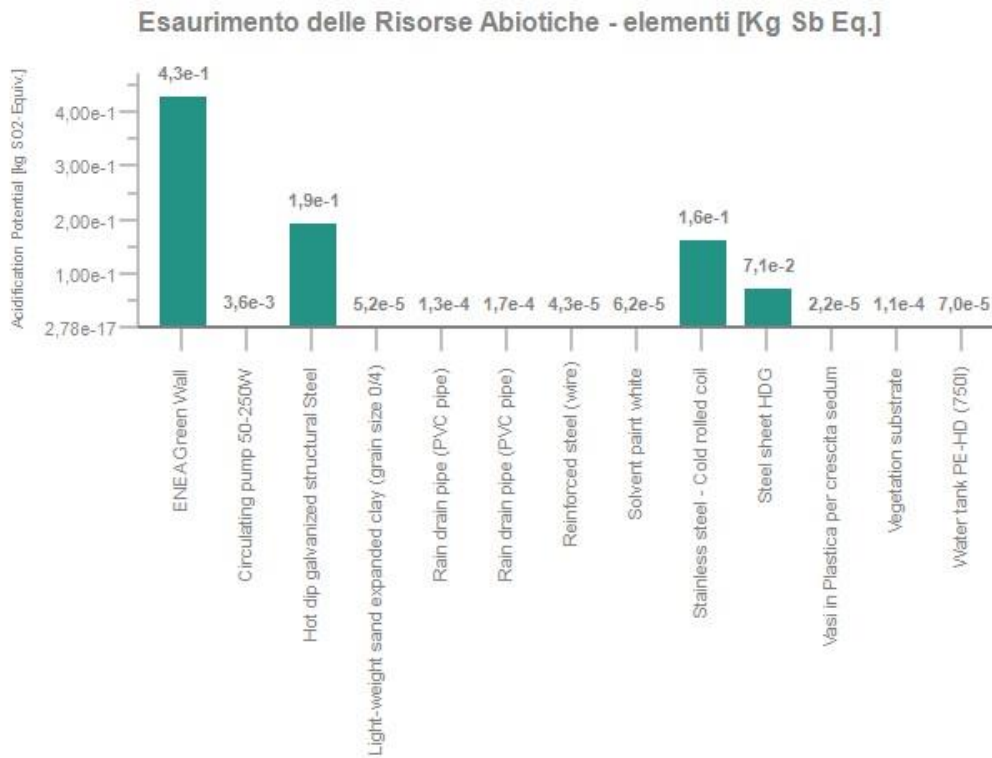


Figura 66 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq.

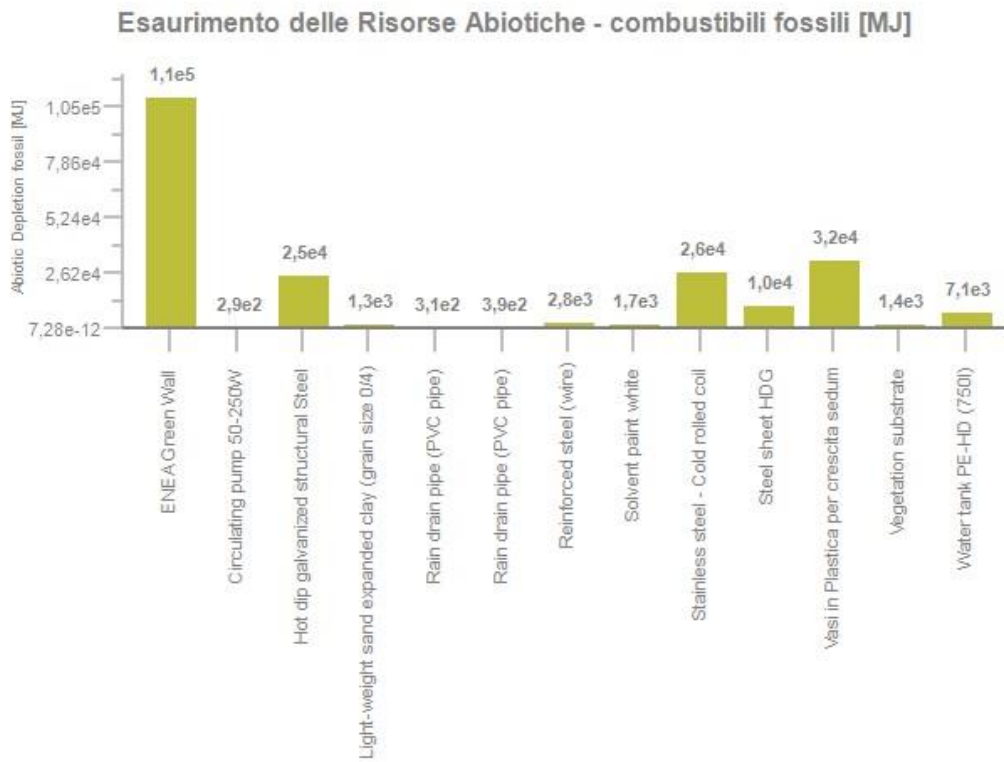


Figura 67 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ.

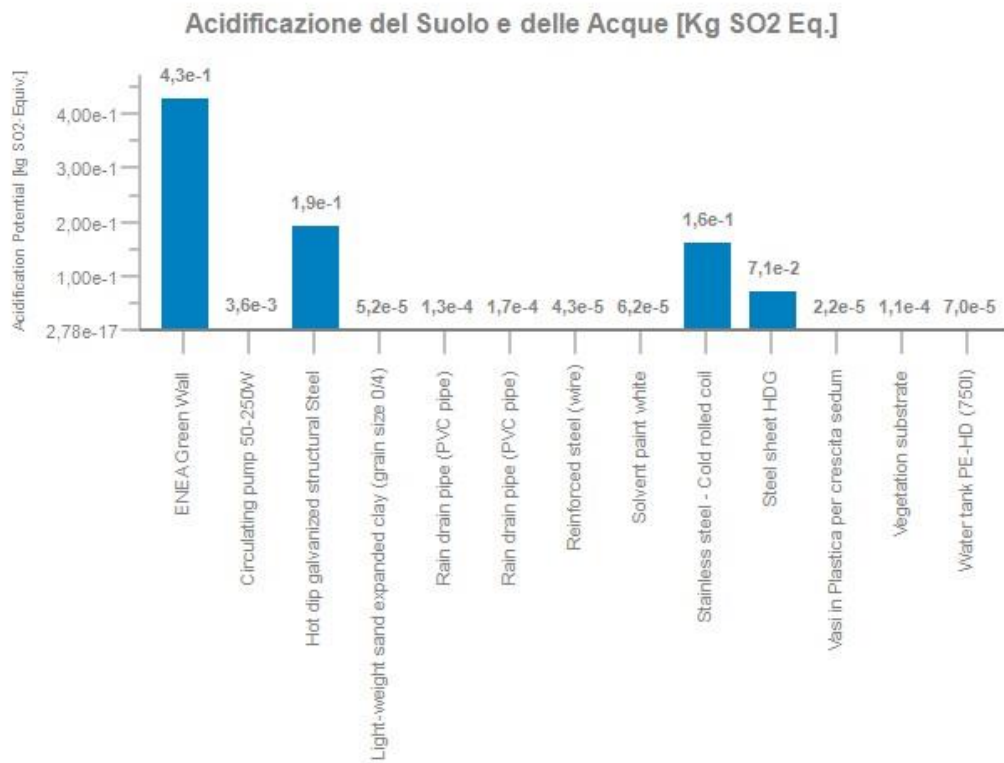


Figura 68 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO2 Eq.

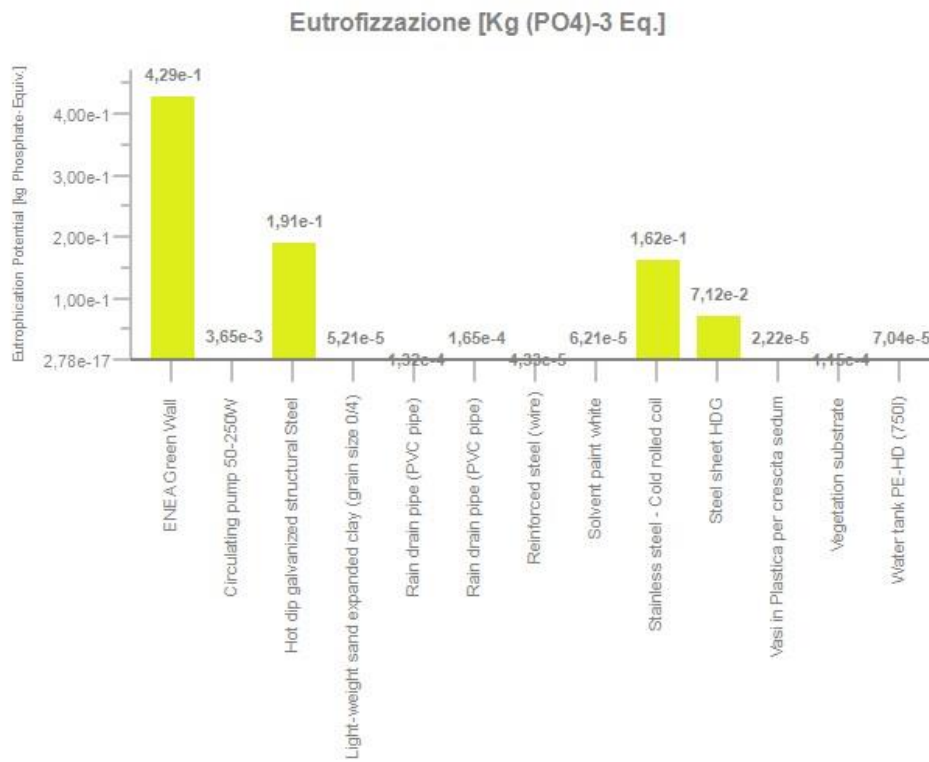


Figura 69 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)³ Eq.

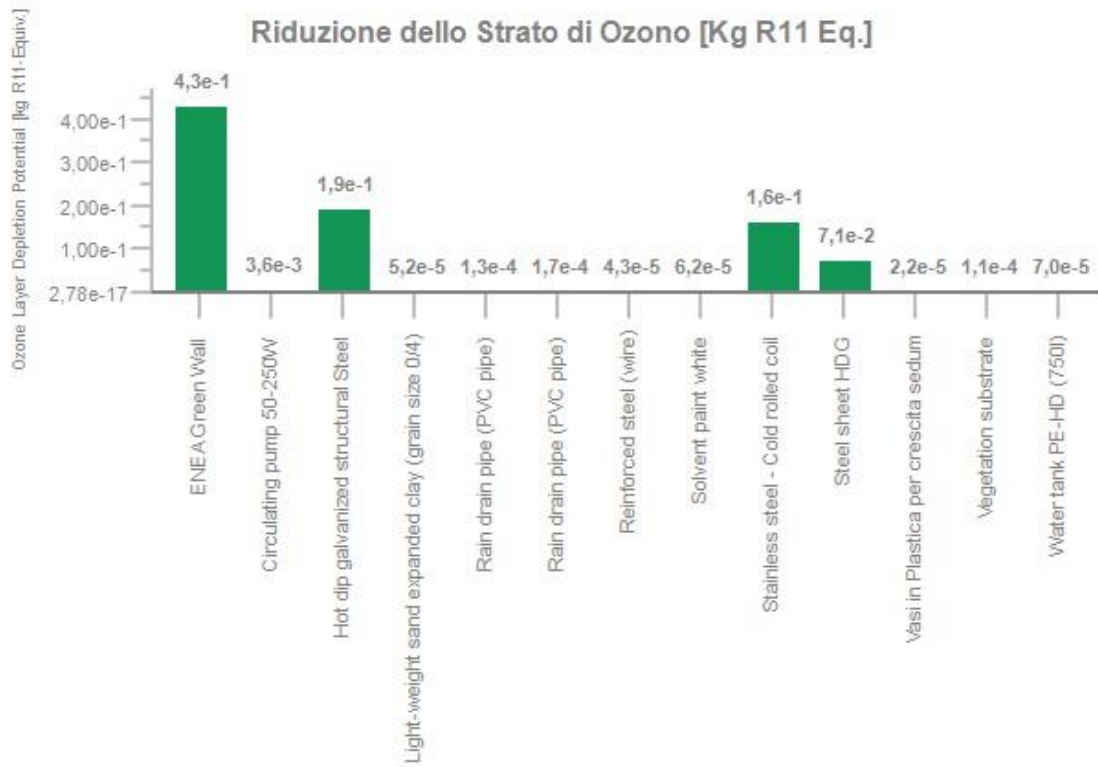


Figura 70 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq.

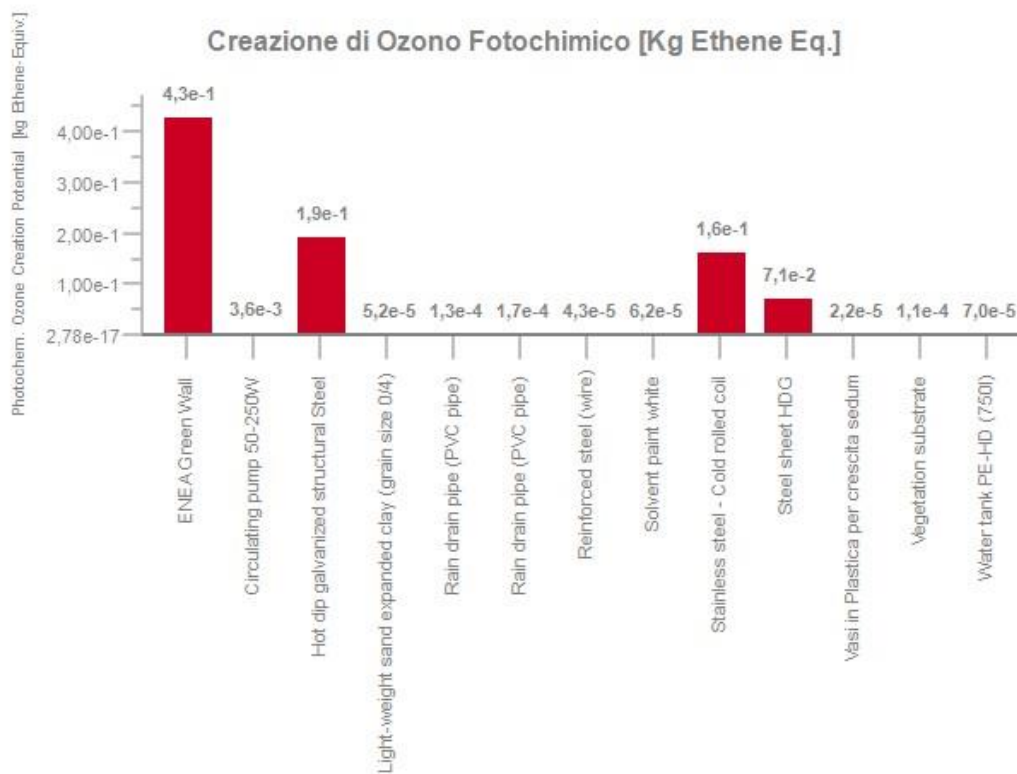


Figura 71 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq.

La

Tabella 41 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

La

Tabella 41 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 72 confronta tra loro i consumi di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile relativi ai diversi elementi costitutivi della parete verde.

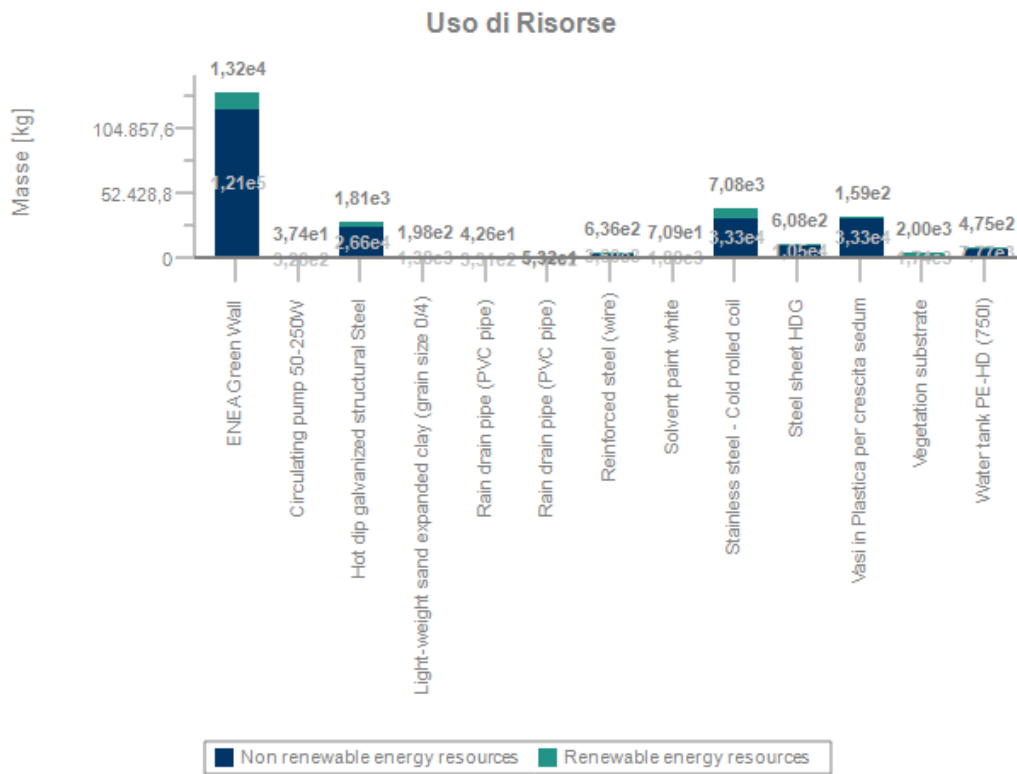


Figura 72 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 ml di Parete Verde ENEA

3.6 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 42 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 m di Parete Verde ENEA Tabella 42 e la

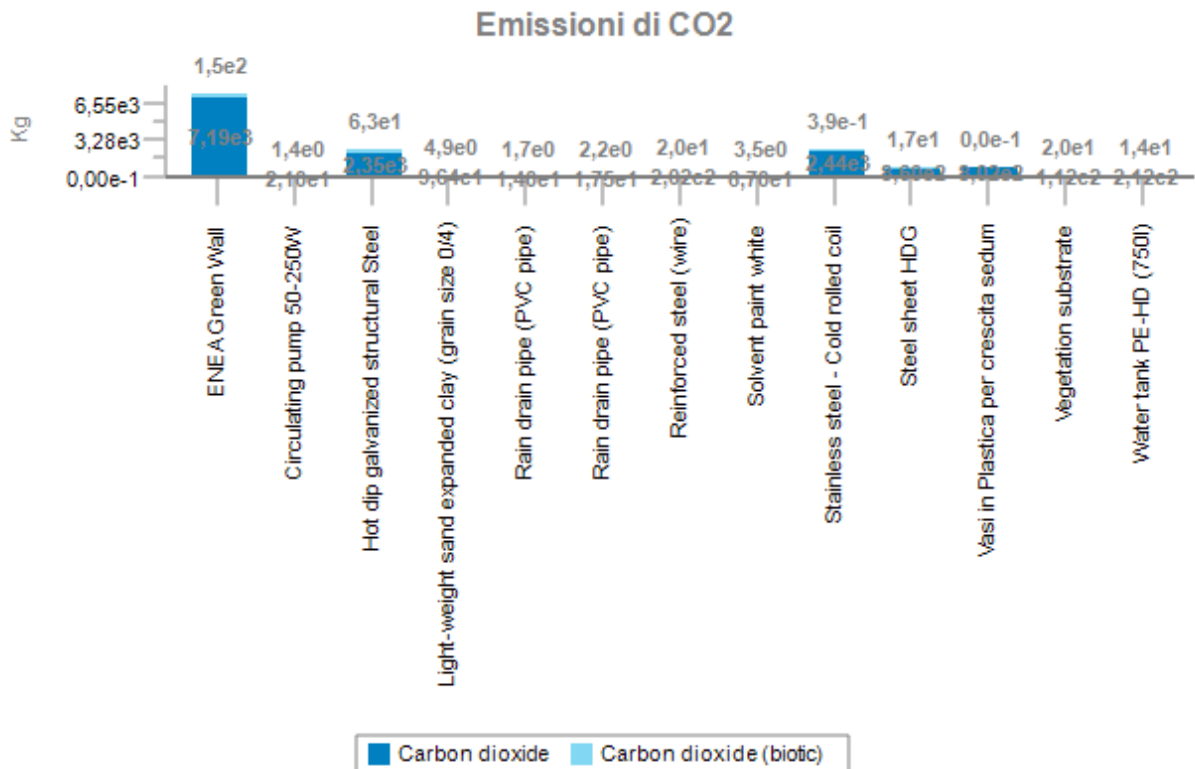


Figura 73 riportano i valori relativi alle emissioni di CO₂ per lo scenario di default.

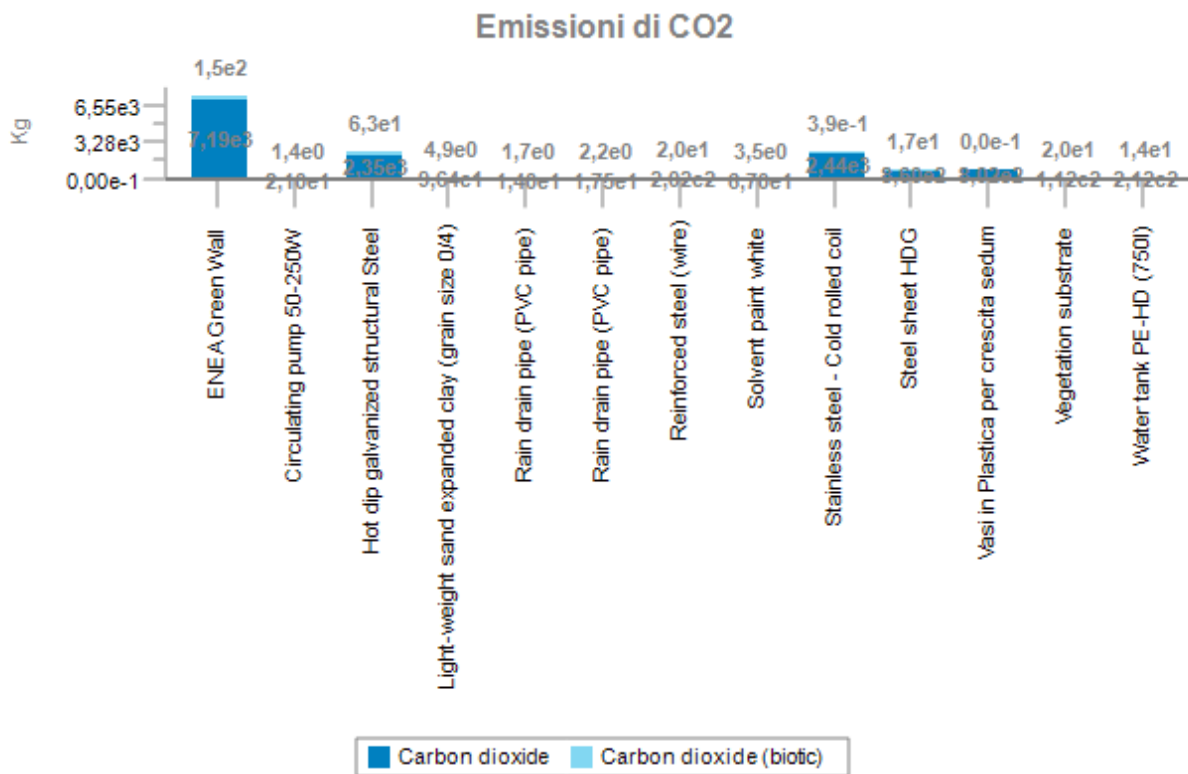


Figura 73 Emissioni in Aria di CO₂ relative a 1 ml di Parete Verde ENEA

3.7 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 65-Figura 3-Figura 67-Figura 68-Figura 69-Figura 70-Figura 71 mostrano gli impatti ambientali per 1 ml di Parete Verde ENEA espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse (nonostante il largo impiego di combustibili secondari - Tabella 41) e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione della struttura portante e degli elementi scatolari in acciaio zincato e delle griglie pedonali laminate a freddo.

I vasi in plastica per la piantumazione delle essenze a verde, realizzati con resine termoplastiche, incidono in maniera determinante sulla categoria *Esaurimento delle Risorse Abiotiche* – fossili ADPf e sul consumo di energia da fonti non rinnovabili per il 29% e il 28% del totale rispettivamente e concorrono significativamente anche nelle categorie *Potenziale di Riscaldamento Globale GWP* (13%).

Al 28% dei consumi di energia concorre anche la produzione delle griglie laminate, che sono responsabili anche del 54% dei consumi di energia primaria da fonti rinnovabili.

4 Descrizione delle attività svolte e risultati – Impianto di Solar Cooling

4.1 Obiettivi

L'obiettivo della analisi LCA condotta sull'impianto di Solar Cooling realizzato presso il Centro Sperimentale Martucci dell'Università di Bari, è di determinare l'impatto ambientale della soluzione tecnologica specifica.

L'impianto di Solar Cooling è del tipo a ciclo chiuso ad Acqua-Bromuro di Litio a singolo effetto.

L'impianto è costituito da un sottoimpianto solare e un sottoimpianto frigorifero.

Il sottoimpianto solare è costituito da un campo solare di 57mq costituito da 5 file parallele di tre pannelli in serie di tubi evacuati per una potenza complessiva di 37kW, due serbatoi di accumulo per acqua calda (2000lt) e acqua fredda (550lt). Il sottoimpianto frigorifero è costituito da un Chiller ad assorbimento monoblocco da 23kW frigoriferi e torre evaporativa incorporata, 5 pompe di circolazione.

A corredo dell'impianto frigorifero, la linea di distribuzione idraulica è costituita da 10 serbatoi di accumulo da 1000Lt per acqua di irrigazione, una linea di acqua dai serbatoi alla torre evaporativa realizzata con tubazioni in plastica LDPE nero e tubi zincati dalla serra alla torre, e una linea principale di acqua fredda realizzata con tubi zincati che alimenta 4 linee di raffreddamento in acciaio zincato lungo le quali sono disposti i vasi di coltivazione.

4.2 Confini del Sistema

L'analisi LCA dell'impianto di solar cooling è stata condotta secondo l'approccio modulare così come definito dalla norma europea UNI EN 15804.

L'analisi degli impatti nel ciclo di vita ha considerato i flussi in ingresso e uscita dal sistema relativamente alla sola fase di produzione A dei materiali ed in particolare alle fasi:

- A1, estrazione e lavorazione delle materie prime e delle materie prime seconde o dei flussi secondari in ingresso
- A2, trasporto delle materie prime allo stabilimento di produzione
- A3, processo di produzione.

Questi includono l'approvvigionamento di tutti i materiali, prodotti e vettori energetici, gli imballaggi e il trasporto allo stabilimento di produzione, la gestione dei rifiuti fino al raggiungimento dello stato di *end-of-waste* o allo smaltimento all'interno del processo di produzione.

I risultati dell'analisi LCA sono riportati in forma aggregata, ossia i sub-moduli A1, A2, A3 sono considerati quale modulo unico A1-A3.

Gli impatti ambientali derivanti dall'analisi, consentono pertanto di elaborare una Dichiarazione Ambientale di Prodotto del tipo dalla culla al cancello (*cradle to gate*).

4.3 Vita Utile di Riferimento (RSL)

La Vita Utile di Riferimento (RSL) o durabilità dell'impianto è considerata pari alla vita utile del campo solare ossia 30 anni.

4.4 Unità dichiarata

L'unità dichiarata è pari a 1 kW di potenza frigorifera generata dall'impianto

Tabella 43 Unità Dichiarata

Nome	Valore	Unità
Potenza frigorifera complessiva	17,5	kWf
Peso	220	kg
fattore di conversione a 1 kg	0,0045	-
unità dichiarata	1	kWf

La Figura 74 riporta lo schema grafico del *plan* LCA con evidenziate le quantità relative per l'intero impianto

Solar Cooling for Greenhouses *

GaBi piano di processi Mass [kg]

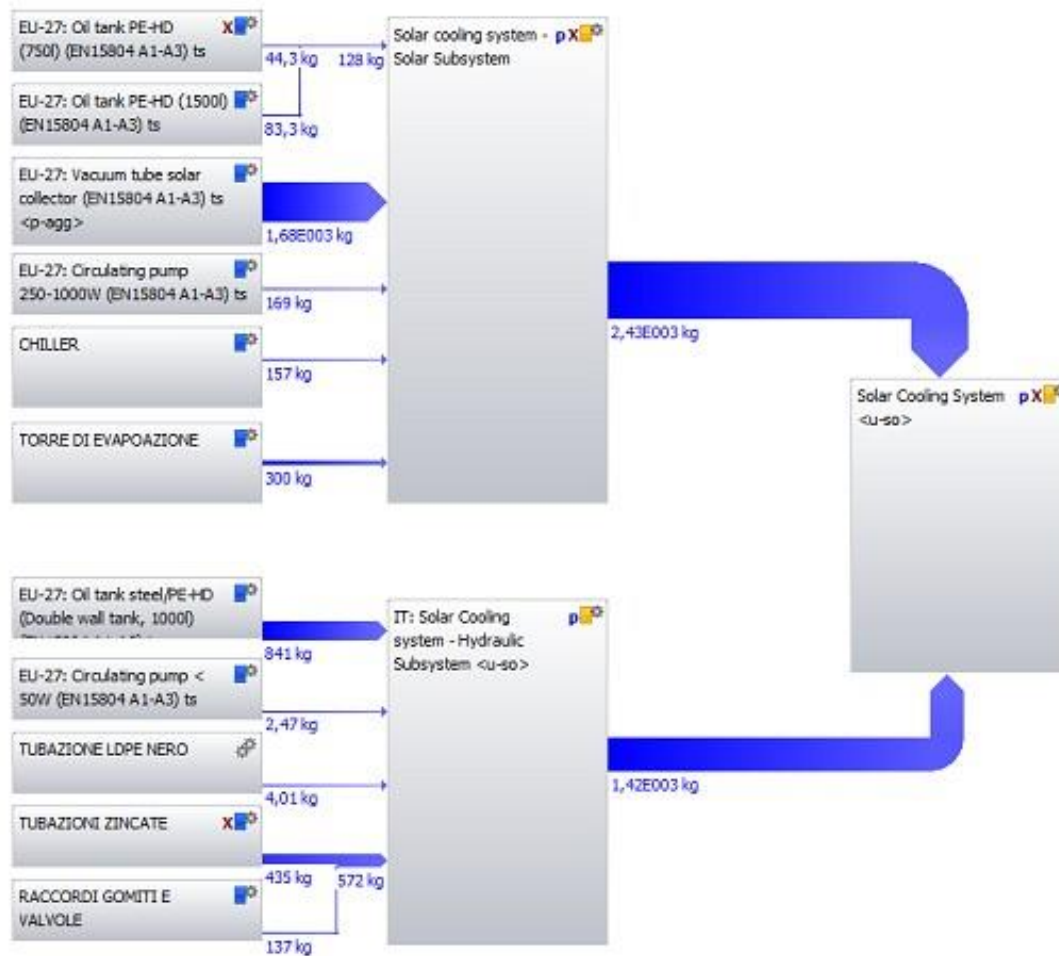


Figura 74 Schema del piano LCA per l'impianto di Solar Cooling

4.5 Parametri descrittivi dell'impatto ambientale e dell'uso di risorse

I risultati della valutazione di impatto sono riportati nelle tabelle a seguire in totale per la struttura analizzata nella seconda colonna da sinistra e in parziale ad evidenziare il contributo di ogni singolo strato all'impatto complessivo nelle colonne verso destra.

Tabella 44 Impatto ambientale per 1 kWf prodotto dall'impianto di Solar Cooling

	Solar Cooling for Greenhouses	Solar Cooling - Refrigeration Subsystem	Circulating pump < 50W	Water tank steel/PE-HD (Double wall tank, 1000l)	Raccordi, Gomiti e Valvole	Tubazione LDPE nero	Tubazioni Zincate	Solar Cooling - Solar subsystem	Chiller	Circulating pump 250-1000W	Water tank PE-HD (1500l)	Water tank PE-HD (750l)	Vacuum tube solar collector	Torre di Evaporazione
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,22E+000	5,79E-002	1,83E-003	5,61E-002	4,80E-006	3,68E-006	1,53E-005	1,17E+000	1,84E-002	1,25E-001	6,63E-005	3,52E-005	1,02E+000	7,40E-006
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	1,43E+005	4,91E+004	1,47E+002	3,54E+004	3,14E+003	3,79E+002	1,00E+004	9,35E+004	3,64E+003	1,00E+004	6,72E+003	3,57E+003	5,61E+004	1,34E+004
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	9,12E+001	1,08E+001	6,75E-002	6,51E+000	1,00E+000	3,16E-002	3,19E+000	8,04E+001	1,00E+000	4,61E+000	5,79E-001	3,08E-001	7,07E+001	3,20E+000
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	3,79E+000	9,49E-001	3,79E-003	5,85E-001	8,51E-002	3,98E-003	2,71E-001	2,84E+000	8,24E-002	2,59E-001	5,30E-002	2,82E-002	2,13E+000	2,88E-001
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	1,11E+004	3,30E+003	1,18E+001	2,11E+003	2,78E+002	1,49E+001	8,87E+002	7,76E+003	2,94E+002	8,03E+002	2,21E+002	1,17E+002	5,27E+003	1,05E+003
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	7,95E-004	3,08E-007	1,74E-009	2,68E-007	8,26E-009	3,34E-009	2,64E-008	7,95E-004	7,94E-004	1,19E-007	6,36E-008	3,38E-008	5,02E-007	9,30E-009
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	6,10E+000	1,57E+000	4,55E-003	9,73E-001	1,40E-001	6,31E-003	4,48E-001	4,53E+000	1,12E-001	3,11E-001	1,13E-001	6,00E-002	3,36E+000	5,80E-001

Tabella 45 Consumo di Energia primaria per 1 kWf prodotto dall'impianto di Solar Cooling

	Solar Cooling for Greenhouses	Solar Cooling - Refrigeration Subsystem	Circulating pump < 50W	Water tank steel/PE-HD (Double wall tank, 1000l)	Raccordi, Gomiti e Valvole	Tubazione LDPE nero	Tubazioni Zincate	Solar Cooling - Solar subsystem	Chiller	Circulating pump 250-1000W	Water tank PE-HD (1500l)	Water tank PE-HD (750l)	Vacuum tube solar collector	Torre di Evaporazione
Primary energy from non renewable resources (net cal. value) [MJ]	1,6E+005	5,2E+004	1,6E+002	3,8E+004	3,2E+003	4,1E+002	1,0E+004	1,1E+005	3,9E+003	1,1E+004	7,3E+003	3,9E+003	6,5E+004	1,4E+004
Primary energy from renewable resources (net cal. value) [MJ]	2,4E+004	3,3E+003	1,9E+001	2,5E+003	1,6E+002	2,4E+001	5,1E+002	2,0E+004	4,5E+002	1,3E+003	4,5E+002	2,4E+002	1,8E+004	4,0E+002

Tabella 46 Consumo Risorse Energetiche [kg] e di acqua per 1 kWf prodotto dall'impianto di Solar Cooling

	Solar Cooling for Greenhouses	Solar Cooling - Refrigeration Subsystem	Circulating pump < 50W	Water tank steel/PE-HD (Double wall tank, 1000l)	Raccordi, Gomiti e Valvole	Tubazione LDPE nero	Tubazioni Zincate	Solar Cooling - Solar subsystem	Chiller	Circulating pump 250-1000W	Water tank PE-HD (1500l)	Water tank PE-HD (750l)	Vacuum tube solar collector	Torre di Evaporazione
Non renewable energy resources	1,58E+005	5,24E+004	1,65E+002	3,82E+004	3,25E+003	4,11E+002	1,04E+004	1,06E+005	3,91E+003	1,12E+004	7,32E+003	3,89E+003	6,51E+004	1,44E+004
Crude oil (resource)	3,75E+004	1,39E+004	3,80E+001	1,25E+004	2,68E+002	2,00E+002	8,54E+002	2,36E+004	6,48E+002	2,60E+003	4,08E+003	2,17E+003	1,25E+004	1,55E+003

Hard coal (resource)	5,61E+004	2,53E+004	5,27E+001	1,38E+004	2,73E+003	1,93E+001	8,71E+003	3,08E+004	1,73E+003	3,60E+003	3,61E+002	1,92E+002	1,84E+004	6,60E+003
Lignite (resource)	1,35E+004	1,72E+003	9,15E+000	1,35E+003	8,26E+001	1,87E+001	1,64E+002	1,47E+004	3,48E+002	6,25E+002	2,56E+002	1,36E+002	9,49E+003	8,78E+002
Natural gas (resource)	3,55E+004	8,21E+003	4,70E+001	7,75E+003	6,21E+001	1,46E+002	1,98E+002	2,73E+004	9,20E+002	3,21E+003	2,02E+003	1,07E+003	1,57E+004	4,37E+003
Peat (resource)	3,66E+001	1,96E+001	6,20E-002	1,79E+001	3,64E-001	1,77E-001	1,16E+000	1,70E+001	1,49E-001	4,23E+000	3,37E+000	1,79E+000	7,09E+000	3,29E-001
Uranium (resource)	1,56E+004	3,26E+003	1,76E+001	2,77E+003	1,05E+002	3,14E+001	3,35E+002	1,24E+004	2,65E+002	1,20E+003	5,97E+002	3,17E+002	8,97E+003	1,01E+003
Renewable energy resources	2,37E+004	3,26E+003	1,88E+001	2,55E+003	1,59E+002	2,37E+001	5,08E+002	2,04E+004	4,54E+002	1,28E+003	4,47E+002	2,37E+002	1,76E+004	3,96E+002
Primary energy from geothermics	1,84E+002	2,38E+001	3,39E-001	2,07E+001	5,87E-001	2,72E-001	1,87E+000	1,60E+002	1,69E-001	2,31E+001	5,18E+000	2,75E+000	1,28E+002	5,68E-001
Primary energy from hydro power	9,06E+003	1,04E+003	6,09E+000	7,59E+002	6,49E+001	5,97E+000	2,07E+002	8,02E+003	7,54E+001	4,16E+002	1,14E+002	6,03E+001	7,17E+003	1,83E+002
Primary energy from solar energy	1,03E+004	1,46E+003	8,67E+000	1,15E+003	6,75E+001	1,11E+001	2,15E+002	8,80E+003	2,75E+002	5,92E+002	2,09E+002	1,11E+002	7,49E+003	1,28E+002
Primary energy from waves	9,02E-009	1,11E-009	5,89E-012	9,06E-010	4,55E-011	9,35E-012	1,45E-010	7,91E-009	2,57E-010	4,03E-010	1,75E-010	9,28E-011	6,90E-009	8,00E-011
Primary energy from wind power	4,18E+003	7,34E+002	3,66E+000	6,14E+002	2,63E+001	6,33E+000	8,38E+001	3,45E+003	1,03E+002	2,50E+002	1,19E+002	6,34E+001	2,82E+003	8,50E+001
Total freshwater consumption (including rainwater) [kg]	1,0E+005	2,1E+004	1,0E+002	1,4E+004	1,6E+003	9,7E+001	5,2E+003	8,3E+004	2,3E+003	6,9E+003	1,8E+003	9,6E+002	6,8E+004	3,5E+003

Tabella 47 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 kWf di impianto di Solar Cooling

	Solar Cooling for Greenhouses	Solar Cooling - Refrigeration Subsystem	Circulating pump < 50W	Water tank steel/PE-HD (Double wall tank, 1000l)	Raccordi, Gomiti e Valvole	Tubazione LDPE nero	Tubazioni Zincate	Solar Cooling - Solar subsystem	Chiller	Circulating pump 250-1000W	Water tank PE-HD (1500l)	Water tank PE-HD (750l)	Vacuum tube solar collector	Torre di Evaporazione
Carbon dioxide	1,0E+004	3,1E+003	1,1E+001	2,0E+003	2,7E+002	1,3E+001	8,6E+002	7,3E+003	2,7E+002	7,2E+002	2,0E+002	1,1E+002	5,0E+003	1,0E+003
Carbon dioxide (biotic)	6,2E+002	9,7E+001	7,0E-001	7,5E+001	4,7E+000	1,2E+000	1,5E+001	5,3E+002	1,7E+001	4,8E+001	1,3E+001	7,1E+000	4,3E+002	8,8E+000

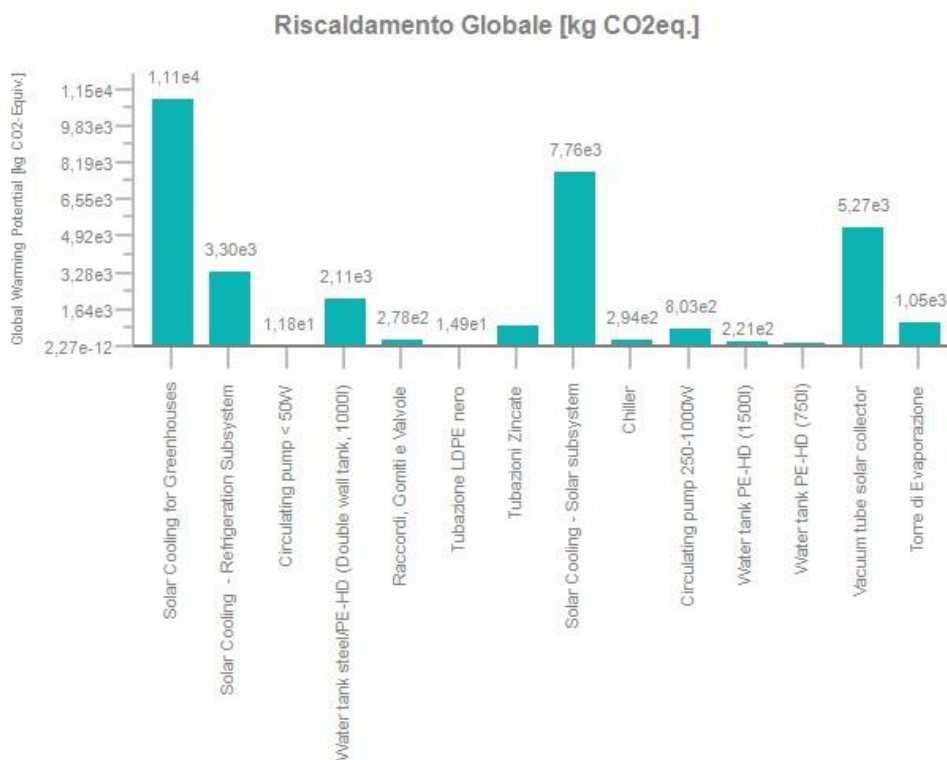


Figura 75 Riscaldamento Globale, Indicatore di danno espresso per Kg CO₂ Eq.

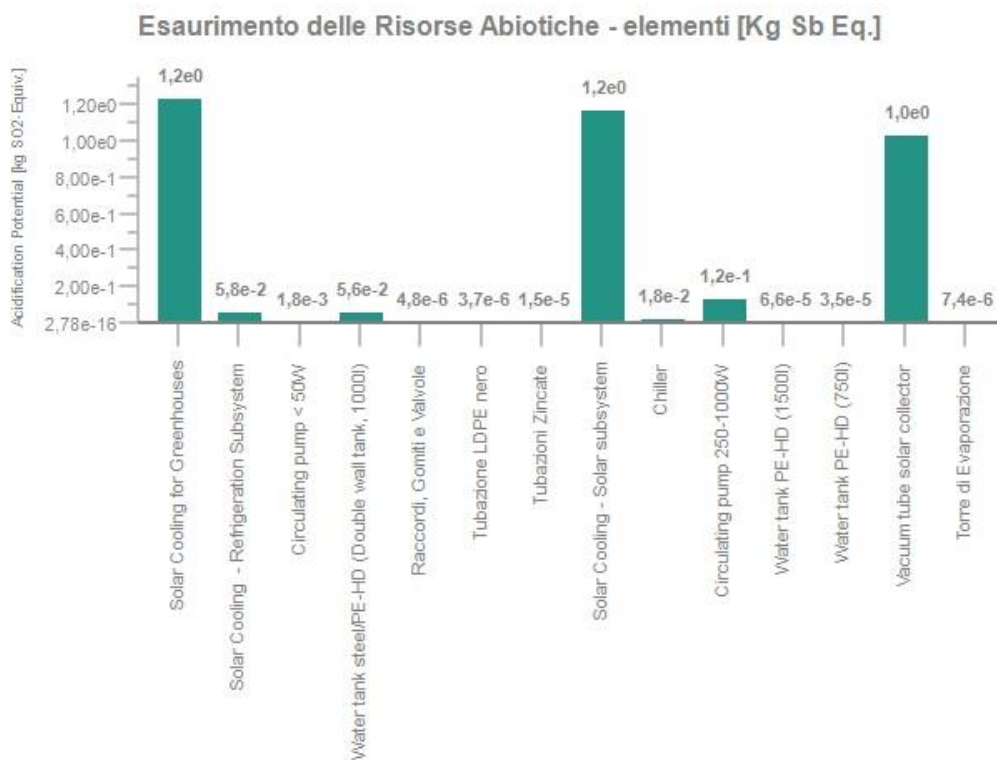


Figura 76 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - elementi, Indicatore di danno espresso per Kg Sb Eq.

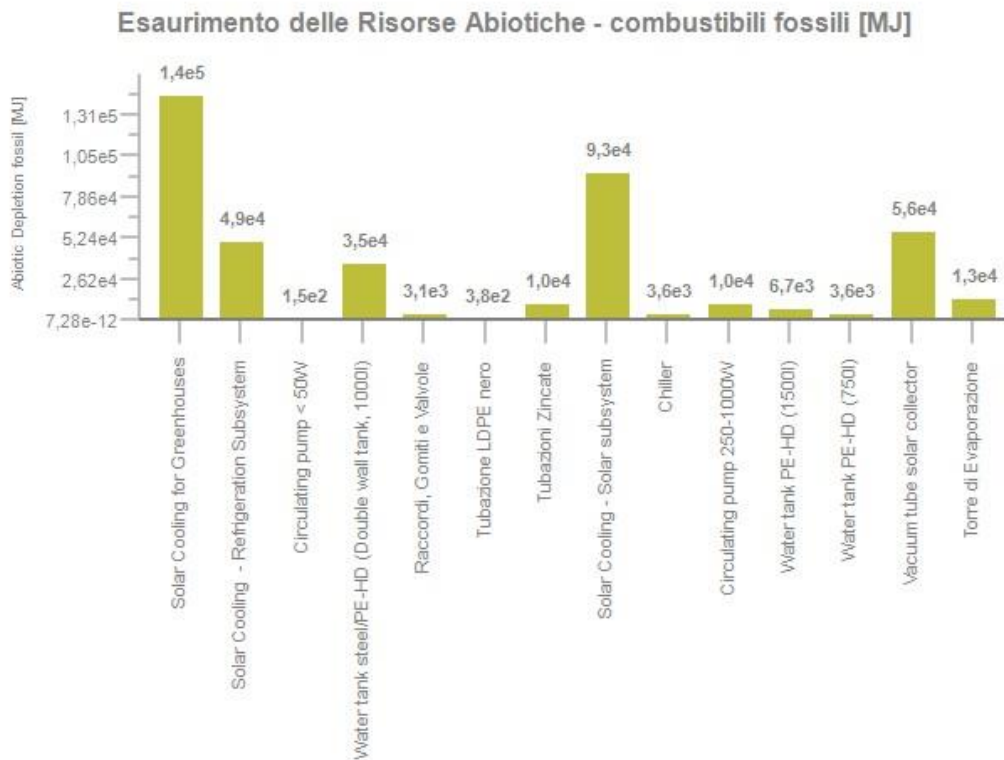


Figura 77 Esaurimento delle Risorse Abiotiche - combustibili fossili, Indicatore di danno espresso per MJ.

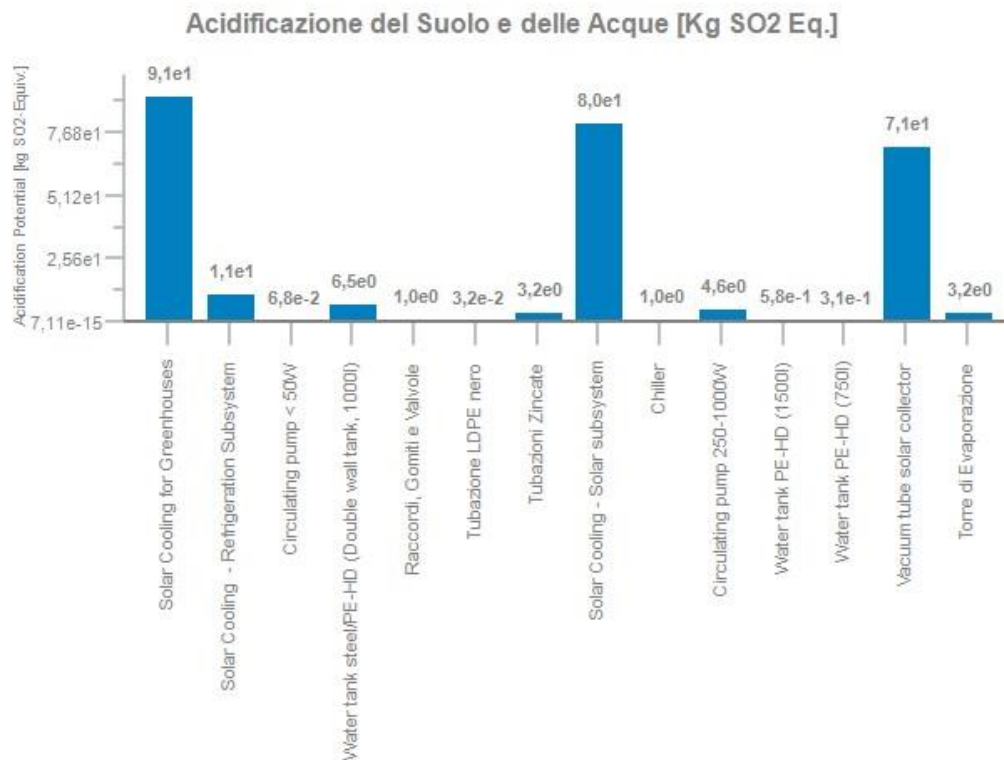


Figura 78 Acidificazione del Suolo e delle Acque, Indicatore di danno espresso per Kg SO2 Eq.

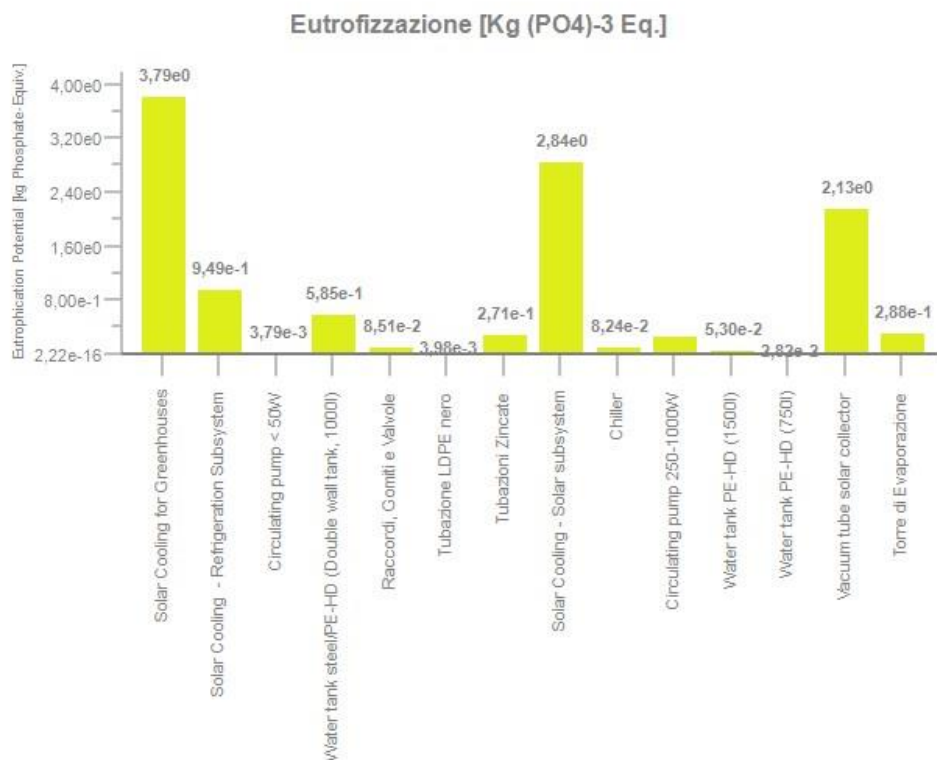


Figura 79 Eutrofizzazione, Indicatore di danno espresso per Kg (PO₄)³ Eq.

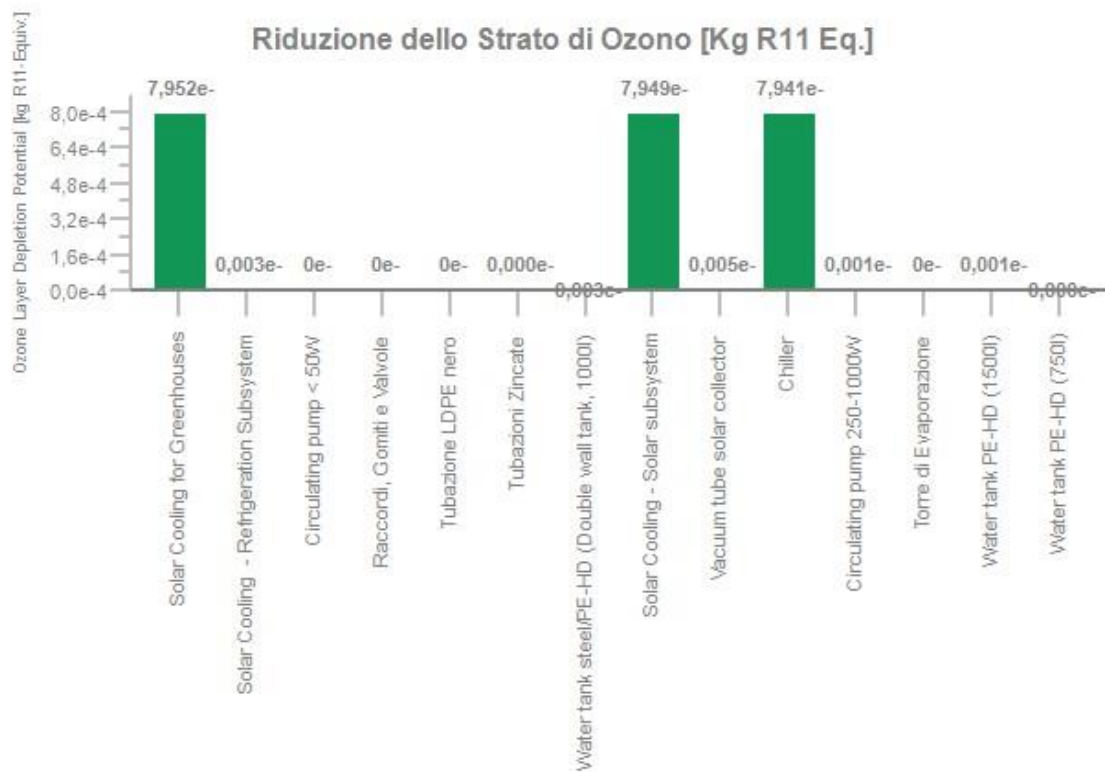


Figura 80 Riduzione dello Strato di Ozono, Indicatore di danno espresso per Kg R11 Eq.

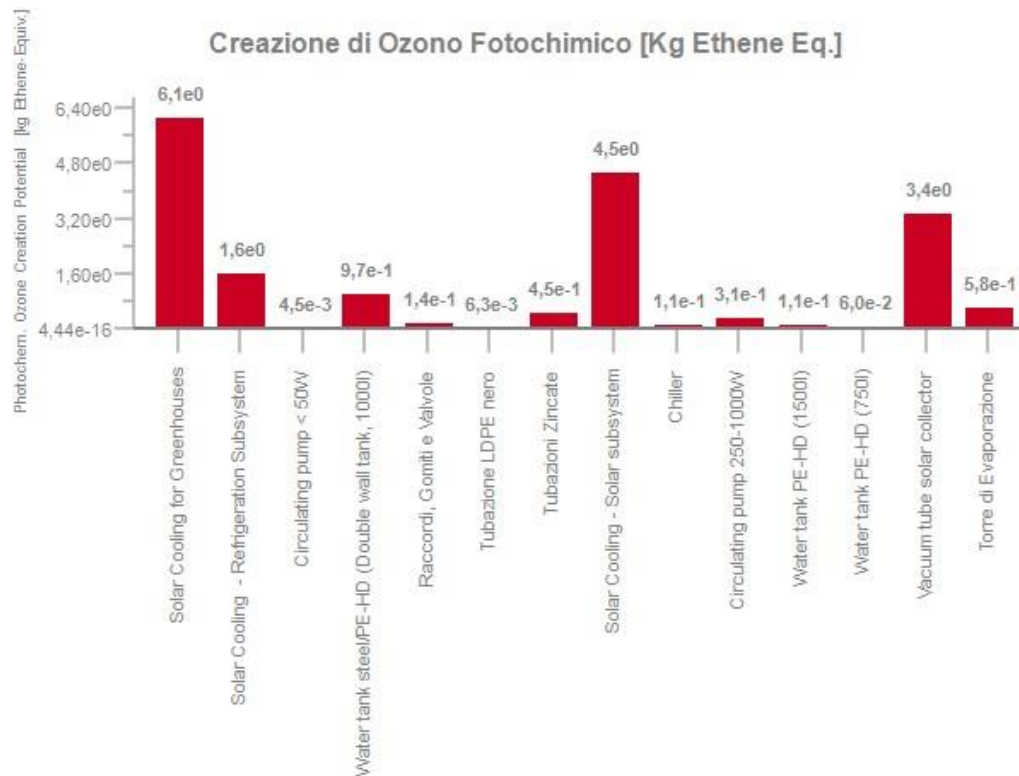


Figura 81 Creazione di Ozono Fotochimico, Indicatore di danno espresso per Kg Ethene Eq.

La Tabella 46 riporta il consumo di risorse energetiche e della risorsa acqua a confronto per lo scenario di riferimento, mentre la Figura 9 Consumo Risorse Energetiche [kg] relativo a 1 mq di Tetto Verde Estensivo con Medium di TIPO A per i diversi scenari a confronto. Figura 82 mostra la *Domanda di Energia primaria* in accordo alla metodologia di valutazione CML2010, per ognuno degli elementi costituenti il pacchetto, in relazione al loro specifico contributo. I risultati sono espressi per lo scenario di riferimento.

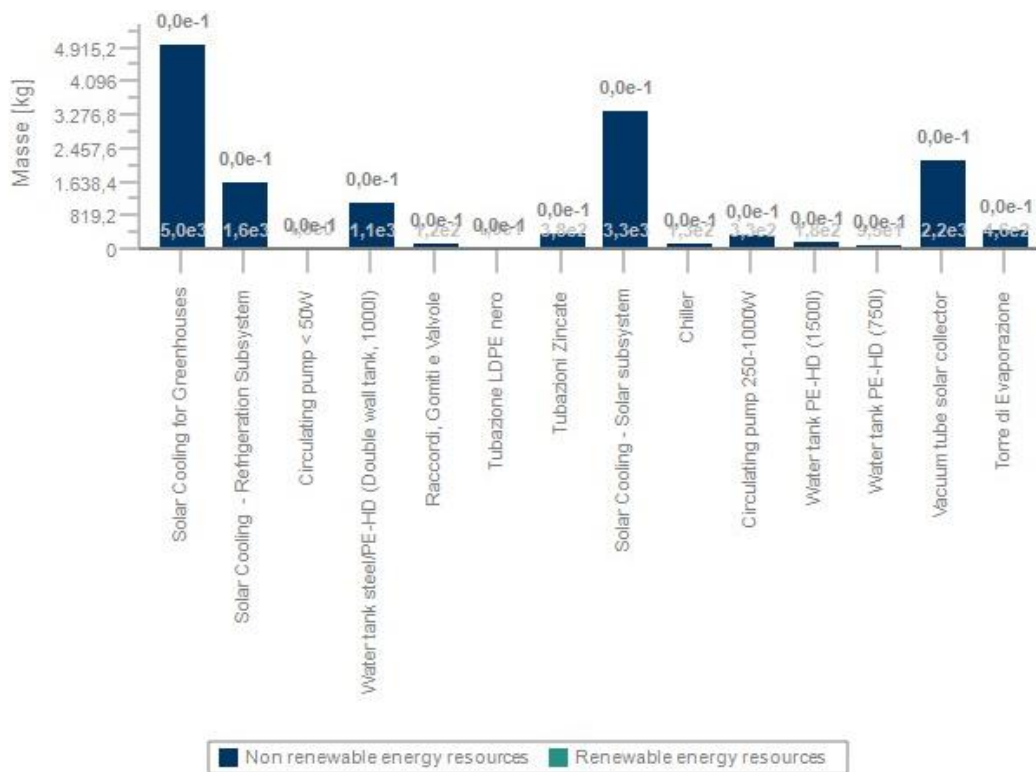


Figura 82 Consumo Risorse Energetiche [kg] per 1 kWf prodotto dall'impianto di Solar Cooling

4.6 Parametri descrittivi delle emissioni in aria

La Tabella 42 Emissioni di Diossido di Carbonio [kg] relativo a 1 m di Parete Verde ENEA Tabella 47 e la Figura 83 riportano i valori relativi alle emissioni di CO₂ per unità dichiarata.

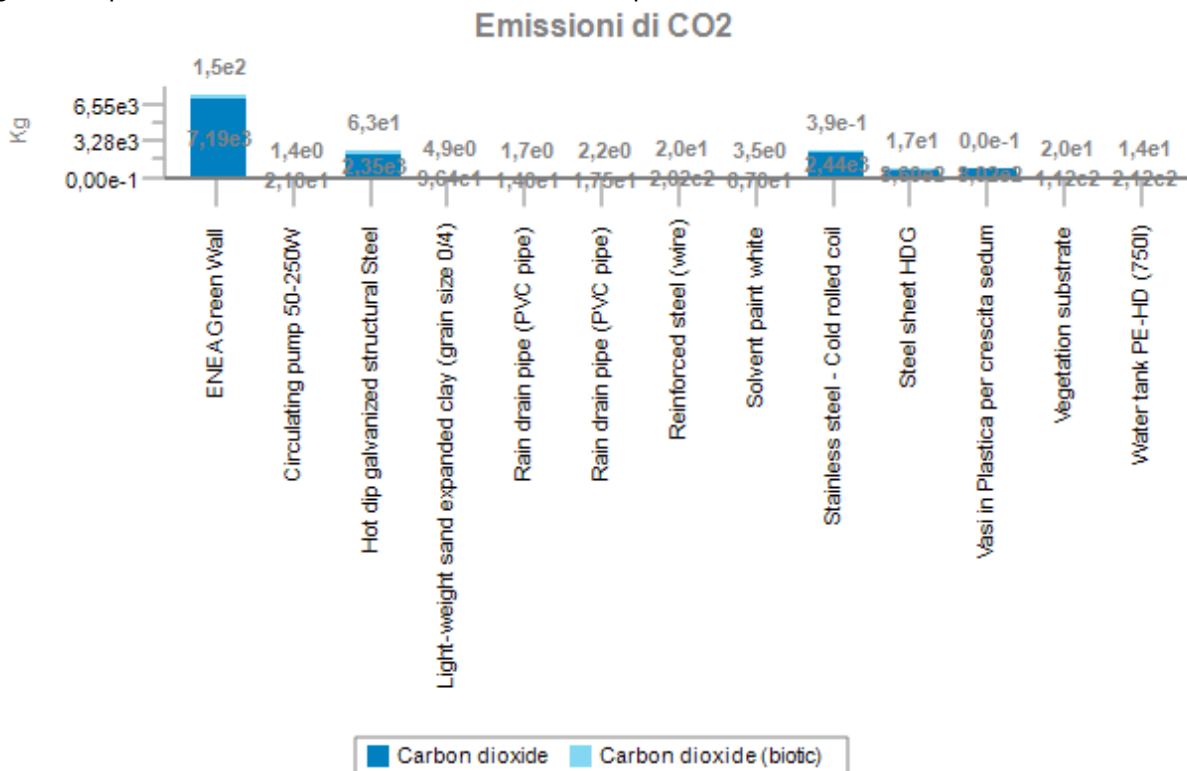


Figura 83 Emissioni in Aria di CO₂ per 1 kWf prodotto dall'impianto di Solar Cooling

4.7 Interpretazione dei risultati

I grafici di cui alle Figura 75-Figura 76-Figura 77-Figura 78-Figura 79-Figura 80-Figura 81 mostrano gli impatti ambientali per 1kW di potenza frigorifera prodotta dall'impianto di Solar Cooling, espressi per categorie di impatto normalizzate sulle emissioni Europee secondo la metodologia CML 2001 - Nov. 2010, come previsto da UNI EN 15804.

In linea generale le categorie di impatto, così come il consumo di risorse e le emissioni in aria di CO₂ sono dominate dalla produzione dell'impianto solare con tubi sottovuoto e dagli impatti legati alla realizzazione dei serbatoi di accumulo per irrigazione e delle pompe di circolazione del subimpianto frigorifero.

Per la sola categorie di danno *Riduzione dello strato di Ozono* ODP, gli impatti risultano causati al 99% dalla produzione del chiller del substrato frigorifero.

E' importante sottolineare che, dal momento che l'analisi LCA è limitata alla sola fase di produzione A1-A3, non sono stati considerati nella valutazione i consumi di acqua per il riempimento e l'efficienza dell'impianto, con particolare riferimento all'acqua di raffreddamento che alimenta la torre evaporativa.

5 Conclusioni

L'indagine iniziale sulla disponibilità di informazioni ambientali specifiche e non generiche, relative a materiali e componenti per la realizzazione di elementi di copertura e di parete verde, ha sostanzialmente confermato la generale mancanza di dati più volte evidenziata in ricerche precedenti a questa ultima.

Nonostante nell'ultimo anno, siano stati infatti pubblicati nuovi studi sugli impatti ambientali dei tetti verdi, e addirittura sia stato pubblicato nel maggio 2016 il primo EPD per sistemi di tetto verde di tipo estensivo [12], ad oggi sono ancora difficilmente reperibili descrizioni caratteristiche dei componenti dei substrati di vegetazione e delle loro prestazioni in termini ambientali ed energetiche.

Molte sono infatti le aziende operanti nel settore nazionale ed europeo degli elementi a verde, che promuovono miscele originali di componenti a base dei tradizionali pomice, torba e lapillo di lava, oltre a nuovi materiali innovativi quali fibre vegetali, fibre di legno, materiali riciclati, idroritentori. Tali composti vengono pubblicizzati per le loro alte prestazioni di sostenibilità, capacità di assorbimento e ritenzione e di rilascio di sostanze nutrienti alla pianta tralasciando però completamente ogni informazioni dettagliata non solo sulla esatta composizione chimica del composto (le miscele sono per lo più segrete) ma anche sulle sue prestazioni termiche nei diversi regimi di umidità.

Da una parte quindi la ricerca scientifica si muove per dimostrare il contributo dei sistemi di copertura e parete verde al miglioramento del comfort interno degli edifici (e in generale della qualità ambientale degli ambienti urbani) e alla riduzione dei consumi energetici, dall'altra non si è ancora indirizzata alla determinazione esatta dei parametri tecnici necessari al calcolo delle trasmittanze e delle capacità termiche dei substrati in uso. Difficile è infatti reperire nella bibliografica scientifica o nella documentazione tecnica commerciale qualsiasi dato relativo a densità, conducibilità, e calore specifico dei diversi mix e soprattutto delle variazioni di tali parametri al variare del tenore di umidità del substrato in uso o in funzione della durata di vita. Diventa quindi piuttosto complicato per il progettista riuscire a calcolare con buona approssimazione le prestazioni termoigrometriche di un edificio con copertura a verde specifica, o addirittura a progettare un sistema ad hoc variando componenti, densità e spessori per rispondere ad esigenze di comfort puntuali, limitando di fatto le potenzialità di impiego di questa tecnologia.

Sarebbe quindi opportuno, per uno sviluppo del presente lavoro di ricerca, avviare una collaborazione più stretta con alcune delle aziende leader di settore che si rendessero disponibili a condividere le caratteristiche dei loro prodotti, al fine di poter calcolare con software accurati, e al contempo misurare e riscontrare sperimentalmente su modelli al vero, le prestazioni reali dei sistemi in uso.

Tale collaborazione, potrebbe consentire anche un ampliamento delle informazioni di carattere ambientale sui suddetti substrati, consentendo la costruzione di una banca dati LCI specifica a supporto delle valutazioni sugli impatti ambientali nel ciclo di vita. Le valutazioni LCA di cui al presente rapporto, sono

state infatti condotte sulla base di ipotesi e informazioni sommarie sulle composizioni % dei diversi substrati, che, come dimostrato, in alcuni casi possono incidere in maniera sostanziale sull'impatto finale.

Analoghe considerazioni possono essere riportate anche per i sistemi di parete verde.

In questo caso però, sono la morfologia e la tecnologia della sottostruttura portante piuttosto che lo strato vegetale a determinare non tanto le prestazioni energetiche quanto l'impatto ambientale complessivo del sistema. Risulta quindi più complicato condurre una analisi a confronto tra soluzioni alternative a parità di prestazioni energetiche, come invece effettuato per le coperture a verde.

Il contributo essenziale di una parete verde alla riduzione dei carichi energetici di un edificio è infatti dovuta primariamente all'effetto schermante sulla parete e alla evapotraspirazione legata alla natura delle essenze vegetali impiegate. L'unità funzionale per un confronto LCA tra sistemi alternativi, potrebbe quindi essere definita dal fattore di riduzione per ombreggiatura.

Per quanto riguarda la valutazione degli elementi di copertura a verde, la ricerca potrebbe evolvere in due direzioni distinte:

- da un lato la sperimentazione diretta attraverso la realizzazione di modelli al vero delle 6 tipologie di copertura analizzate, con l'obiettivo di misurarne il comportamento termoigrometrico in opera e ricalibrare i modelli LCA sulla base dei risultati sperimentali ottenuti.
- dall'altro l'ampliamento della valutazione LCA a fase del ciclo di vita successive a quello di produzione, con particolare riferimento alle fasi di uso e di fine vita. In fase d'uso assume infatti particolare rilevanza da un lato il consumo di acqua, specialmente in climi caldi per l'irrigazione e la manutenzione del sistema a verde nonché l'impiego di concimi e fertilizzanti per il nutrimento delle essenze vegetali, mentre al fine vita potrebbe assumere importanza l'eventualità di un recupero o riciclo di parti del sistema per utilizzi secondari.

Individuate sul mercato tipologie consolidate di parete verde sulle quali effettuare analisi a confronto come sopra specificato, la ricerca potrebbe successivamente evolvere nella medesima direzione.

6 Riferimenti bibliografici

1. K.K.Y., Liu, B., Baskaran, Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings for the first North American green roof infrastructure conference, awards, and trade show, Chicago, IL, May 29–30 (2003), 1–10.
2. N.H., Wong, S.F., Tay, R., Wong, C.L., Ong, A., Sia, Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. *Building and Environment*.38 (2003),499–509.
3. CEN TC 350 WG1 Environmental performance of buildings in developing a TR WI 00350023 - Additional indicators.
4. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, L 153/2010.
5. M. Beccali, M. Cellura, M. Fontana, S. Longo, M. Mistretta, Energy retrofit of a single-family house: Life cycle net energy saving and environmental benefits, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27: (2013), 283 – 293.
6. S., Saiz, C., Kennedy, B., Bass, K., Pressnail, Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green roofs. *Environ. Sci. Technology*.40 (2006), 4312-4316.
7. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011. Europe's buildings under the microscope. A country – by – country review of the energy performance of buildings. ISBN: 9789491143014.
8. I., Sartori, A.G., Hestnes, Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: A review article. *ENB*, 39 (2007), 249-257.

9. http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/edifici-pa/2014/rds-par2014-071.pdf
10. C., Gargari, C., Bibbiani, F., Fantozzi, C.A., Campiotti, Environmental Impact of Green Roofing: The Contribute of a Green Roof to the Sustainable use of Natural Resources in a Life Cycle Approach, Agriculture and Agricultural Science Procedia, Vol. 8 (2016), 646-656.
11. L., Orsenigo, C. Gargari, EPD Dichiarazione ambientale di prodotto per i materiali da costruzione, Industrie Manufatti Cementizi, 23 (2012), 48-55.
12. KNAUF Insulation, URBANSCAPE Extensive GreenRoof System, EPD-KNI-20160071-CBA1-EN, IBU Institut Bau und Umwelt, (2016), 1-7.

7 Abbreviazioni ed acronimi

ADP, Abiotic Depletion

AP, Acidification Potential

EP, Eutrophication Potential

GWP, Global Warming Potential

LCA, Life Cycle Assessment

ODP, Ozone Layer Depletion Potential

POCP, Photochemical Ozone Creation Potential

RSL, Vita Utile di Riferimento

8 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività

Ing. Carlo Bibbiani

Curriculum Vitae

Carlo Bibbiani, nato a Pisa nel 1962, consegue la Laurea in Ingegneria Civile, Sezione Idraulica, presso la Università degli Studi di Pisa. Successivamente consegue il titolo di Dottore di Ricerca in " Genio rurale " (IX° Ciclo, 1996) presso l'Università di Pisa. Dal 2001 è Ricercatore universitario presso l'Università di Pisa. Ha svolto ricerche nei seguenti settori: Energia rinnovabile applicata ai sistemi serra; Compilazione di software volto alla simulazione climatica nelle serre; Studio delle proprietà fisiche ed idrauliche dei substrati per le colture fuori suolo; Simulazione della relazione suolo-acqua nelle colture fuori suolo; Simulazione del comportamento energetico di tetti e pareti verdi attraverso il software Energy Plus; Life Cycle Assessment (LCA) applicata a tetti e pareti verdi.

Ha partecipato come relatore a diversi Convegni, in materia di energie rinnovabili applicate alla agricoltura, sia in Italia che all'estero.

L'attività di ricerca svolta è documentata dalla produzione di una sessantina di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali e italiane e su atti di convegni.

Prof. Ing. Fabio Fantozzi

Curriculum Vitae

Fabio Fantozzi, nato a Pontedera (Pi) nel 1954, laureato in Ingegneria Meccanica con tesi sperimentale dal titolo "Progetto di un corpo nero sul principio del tubo di calore per applicazioni termometriche" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, Dottore di Ricerca in Fisica Tecnica (1° ciclo- Curriculum: Termofluidodinamica, è attualmente Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC).

L'attività scientifica si è svolta inizialmente su diverse applicazioni di tubi di calore, su cui aveva lavorato anche durante la tesi (Titolo: "Progetto di un corpo nero sul principio del tubo di calore per applicazioni termometriche").

In particolare, i tubi di calore erano costituiti da termosifoni bifase con applicazioni previste nei campi:

- a) della geotermia
- b) del raffreddamento dell'elettronica, soprattutto di potenza.

Tale attività è stata a lungo svolta in collaborazione con il Moscow Power Engineering Institute di Mosca.

Attualmente, con riferimento alle Direttive Europee sul rendimento energetico in edilizia, svolge la sua attività, principalmente su tematiche di diagnosi energetica, risparmio energetico e riqualificazione di edifici esistenti, tema sul quale è stato chiamato a fare da relatore in diverse occasioni.

Ha lavorato sul tema della "Certificazione Energetica degli edifici", anche nell'ambito del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) in cui ha fatto parte di due specifici Gruppi di Lavoro del SottoComitato 1 riguardanti: a) Norme tecniche a supporto della legislazione energetica degli edifici, b) Caratteristiche termiche dei materiali.

L'attività si è poi definitivamente spostata su temi più tipici della Fisica Tecnica Ambientale, in particolare sullo studio di pareti multistrato e ventilate in edilizia, tema con cui ha fatto parte anche di diversi PRIN di ricerca a livello nazionale.

Ha condotto, in qualità di Responsabile, diversi contratti di ricerca con aziende, su tematiche energetiche e ha partecipato come relatore a diversi Convegni e Corsi, sempre in materia energetica, sia in Italia che all'estero.

L'attività di ricerca svolta è documentata dalla produzione di un centinaio di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali e italiane e su atti di convegni.

Arch. Caterina Gargari

Curriculum Vitae

Caterina Gargari, Laureata in Architettura presso la facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, dottore di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura, svolge attività di ricerca presso il Dipartimento TAeD Tecnologie dell'Architettura e Design di Firenze e il Dipartimento DESTEC dell'Università di Pisa sulle tematiche della progettazione sostenibile con particolare riguardo alla qualificazione energetica e alla valutazione di impatto ambientale di materiali e edifici. Ha iniziato la sua attività di ricerca partecipando a numerosi progetti europei sulla progettazione ambientale, il risparmio e l'efficienza energetica, l'utilizzo di energie rinnovabili, con particolare riferimento alla progettazione in clima mediterraneo. Dal 2004 si occupa nello specifico di Valutazione delle prestazioni ambientali dei materiali da costruzione secondo la metodologia LCA e dal 2006 è membro stabile, nominata da UNI, del tavolo di lavoro CEN TC 350 "Sustainability of Construction Works".