



MR Energy Systems

La sostenibilità al centro delle tue scelte

Prodotti eco-compatibili

Moduli per tetti verdi

Rapporto di analisi del ciclo di vita dei prodotti Daku Italia: “Sistema Intensivo Standard” e “Sistema Estensivo Standard”

DAKUKU

- Riservato e Confidenziale -

Vietata la riproduzione e distribuzione anche parziale non autorizzata.

data	codice	versione	redazione	validazione	approvazione
29/01/2021	MRES200001-DAK-LCA-RAP	V1.4	MR Energy Systems	Daku Italia	SGS Italia

MR Energy Systems s.r.l. a socio unico

Sede Operativa e Legale:
VEGA Parco Scientifico Tecnologico di Venezia
c/o VEGA InCube - Edificio Pegaso – 2° Piano
Via delle Industrie, 15 - 30175 Marghera (VE) Italy

Tel. +39 041 5093110 Fax. +39 041 5093113
PIVA e CF: 01116080258 R.E.A. BL-96636
Capitale Sociale €10.000 interamente versato
www.mrenergy.it – info@mrenergy.it

Sommario

1.	Aspetti generali	4
1.1.	Società	4
1.2.	Consulente esterno.....	4
1.3.	Riferimenti normativi.....	5
2.	Obiettivo	6
3.	Scopo.....	7
3.1.	Descrizione del prodotto	7
3.1.1.	Sistema Estensivo Standard	8
3.1.2.	Sistema Intensivo Standard	15
3.2.	Unità di riferimento	17
3.3.	Confini del sistema.....	18
3.4.	Qualità dei dati	19
3.5.	Quantificazioni dei flussi di materia	19
3.5.1.	Componenti dei sistemi	19
3.5.2.	Packaging dei sistemi.....	22
3.6.	Tetti verdi prodotti nel 2019.....	24
3.7.	Consumi di energia nella sede di DAKU.....	25
3.7.1.	Consumi di energia elettrica.....	26
3.7.2.	Consumi di gas naturale.....	27
3.7.3.	Consumi di pellet	27
3.7.4.	Consumi di gasolio per autotrazione	28
3.7.5.	Consumi totali di energia.....	28
3.8.	Criteri di cut-off	29
4.	Analisi di inventario.....	30
4.1.	Sistema Estensivo Standard.....	30
4.1.1.	Product stage (A1+A2+A3).....	30
4.1.2.	Transport to the building site (A4).....	41
4.1.3.	Installation into the building (A5)	43
4.1.4.	Use (B1).....	45
4.1.5.	Deconstruction, demolition (C1)	47
4.1.6.	Trasport (C2)	47
4.1.7.	Waste processing (C3)	47
4.1.8.	Disposal (C4)	48



4.1.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D).....	49
4.2. Sistema Intensivo Standard	49
4.2.1. Product stage (A1+A2+A3).....	49
4.2.2. Transport to the building site (A4).....	57
4.2.3. Installation into the building (A5)	58
4.2.4. Use (B1).....	59
4.2.5. Deconstruction, demolition (C1)	59
4.2.6. Trasport (C2)	59
4.2.7. Waste processing (C3)	60
4.2.8. Disposal (C4)	61
4.2.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D).....	61
5. Valutazione degli impatti	62
5.1. Modelli di riferimento.....	62
5.1.1. Impatto ambientale	62
5.1.2. Uso delle risorse	64
5.1.3. Output.....	66
5.2. Risultati	69
5.2.1. Sistema Estensivo Standard	73
5.2.2. Sistema Intensivo Standard	95
6. Interpretazione	117
6.1. Interpretazione dei risultati.....	117
6.1.1. Impatto ambientale	117
6.1.2. Uso delle risorse	118
6.1.3. Output.....	118
6.1.4. Estensivo vs Intensivo	118
6.2. Analisi di sensibilità.....	119
6.2.1. Qualità dei dati	119
6.2.2. Geo-localizzazione del cantiere	120
6.2.3. Elemento di accumulo e drenaggio in PE riciclata.....	120
7. Bibliografia	122

1. Aspetti generali

Il presente documento è stato redatto come rapporto di analisi del ciclo di vita (di seguito anche “analisi LCA”, dall’inglese Life Cycle Assessment) dei seguenti sistemi di tetti verdi realizzati da Daku Italia:

- **Estensivo:** sistema tecnico a “tetto verde” caratterizzato da spessori ridotti, pesi contenuti e ridotta manutenzione. Sistema particolarmente adatto alle coperture di grandi dimensioni e di difficile accessibilità, senza impianti di irrigazione con vegetazione in “sedum” adattabile alle condizioni climatiche del luogo. È particolarmente indicato per coperture estese in cui la finalità è in via prioritaria ottimizzare il rapporto costi/benefici.
- **Intensivo:** si tratta del “giardino pensile” caratterizzato da una finitura a prato e/o impianti arbustivi assimilabili a quelli di un normale giardino che permette di creare una superficie calpestabile e quindi ampliare gli spazi fruibili dell’edificio. Necessita di una manutenzione regolare, con apporti irrigui e nutritivi costanti. La finalità del tetto verde intensivo non è di tipo prettamente tecnico-economico, come invece è nel tetto verde estensivo, bensì essa afferisce alla dimensione culturale dei servizi ecosistemici rappresentante i benefici non materiali quali quelli ricreativi, estetici e spirituali.

1.1. Società

Daku Italia s.r.l. (di seguito anche “Organizzazione”) offre ai propri clienti soluzioni di verde pensile (*green roof systems*) improntate alla innovazione tecnologica ed ecologicamente sostenibili. L’azienda è attiva dal 1992, dapprima come agenzia di DAKU GmbH, in seguito in forma indipendente come Daku Italia s.r.l. successivamente alla acquisizione del brevetto per la produzione dei materiali e all’utilizzo del marchio in esclusiva per l’Italia.

I sistemi proposti mirano alla conservazione e ottimizzazione dell’utilizzo delle risorse naturali e forniscono un approccio evoluto ai problemi legati all’urbanizzazione, quali il ciclo dell’acqua, la riduzione di polveri sottili e la diminuzione dell’effetto “isola di calore”. Tali sistemi sono caratterizzati da una elevata flessibilità progettuale a specifiche esigenze di installazione.

Il mercato di riferimento è l’Italia, servito attraverso una rete nazionale di agenti gestiti da funzionari commerciali, a cui si aggiungono realizzazioni in mercati esteri per un totale di oltre 1.300.000 metri quadri di coperture a verde realizzati ad oggi.

La clientela servita appartiene sia al mercato domestico che professionale, pubblico e privato.

I referenti interni alla società per l’analisi LCA sono:

- Marino Fantin, amministratore;
- William Palamara, responsabile tecnico.

1.2. Consulente esterno

L’attività di analisi LCA è stata condotta da **MR Energy Systems s.r.l.** (di seguito anche “MR Energy”), in qualità di azienda consulente esterna all’Organizzazione.

MR Energy è una Società di ingegneria con lunga esperienza nello sviluppo e fornitura di servizi di consulenza e di progettazione per la sostenibilità energetica e climatica.

Il team di MR Energy risulta così composto:

- ing. Mauro Roglieri, ingegnere elettrico, amministratore unico e direttore tecnico, in possesso di certificazione EGE in ambito civile e industriale;
- dott. Marco Zanetto, consulente senior, Carbon & Energy Manager certificato EGE, laureato in Pianificazione Territoriale, Urbanistica ed Ambientale;
- ing. Marco Convertino, ingegnere energetico, consulente junior.

1.3. Riferimenti normativi

L'analisi LCA è stata condotta secondo i seguenti standard e documenti:

- UNI EN ISO 14040 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento;
- UNI EN ISO 14044 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida;
- UNI EN ISO 14025 Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III – Principi e procedure;
- General Programme Instructions (GPI) for the International EPD® System (version 3.01);
- PCR 2019:14 Construction products (version 1.1);
- UNI EN 15804 Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto.

In bibliografia l'elenco degli standard è integrato con i riferimenti ai database, articoli scientifici e siti web utilizzati.

2. Obiettivo

L'analisi LCA è stata condotta dalla culla alla tomba (in inglese 'from cradle to grave') dell'Organizzazione con lo scopo di perseguire i seguenti obiettivi:

- **Quantificazione delle emissioni / impatti ambientali** legati alle lavorazioni proprie, nonché alle attività gestite da terzi lungo il ciclo di vita dei prodotti.
- **Certificazione delle performance ambientali del prodotto** secondo lo schema International EPD® System, sviluppato dal program operator "EPD International AB" e basato sulle norme internazionali ISO 14025 ed EN 15804, da affiancare alla certificazione di compatibilità ambientale già acquisite e alle caratteristiche chimico fisiche nella promozione del prodotto stesso.
- **Miglioramento continuo** delle performance del prodotto, mediante azioni mirate dettate dall'analisi degli impatti ambientali.

3. Scopo

3.1. Descrizione del prodotto

Il verde pensile realizzato da DAKU appartiene alle due macro-tipologie: estensivo e intensivo.

Il verde **estensivo** viene comunemente identificato come **tetto verde**. Esso rappresenta un sistema tecnico per coperture verdi caratterizzato da spessori ridotti (da 16 cm), pesi contenuti (da 95 kg/mq a massima saturazione) e manutenzione ridotta. Esso è frutto di una scelta con funzioni prevalentemente tecnologiche e criterio primario di valutazione della realizzazione del progetto è il rapporto costo/benefici che produce. A ciò si aggiunge la funzione estetica garantita dalla ricreazione di un habitat naturale attraverso un'accurata selezione della vegetazione autorigenerante della copertura, composta principalmente da una miscela di varietà di Sedum ed erbacee perenni, adatte alle condizioni estreme dei tetti verdi.

Il verde **intensivo** viene comunemente identificato come **giardino pensile**. Esso è l'analogo, in copertura, del giardino tradizionale su terra realizzato attraverso un'ampia scelta vegetazionale ed un'attenta pianificazione degli spazi fruibili, con interventi manutentivi del tutto simili a quelli necessari per un giardino tradizionale.

Il sistema tetto verde DAKU, sia nella variante estensivo che intensivo, è tipicamente composto da:

1. vegetazione
2. substrato
3. filtro/separazione in TNT
4. elemento di accumulo e drenaggio

Considerate le tipologie di intervento realizzate da DAKU, è possibile individuare due prodotti tipo rappresentativi e comparabili per caratteristiche tecniche con gli altri prodotti presenti sul mercato:

- Sistema Estensivo
- Sistema Intensivo

Entrambi i prodotti verranno presi in esame nella configurazione definita "Standard".

Nella seguente tabella si riporta un riepilogo degli elementi che costituiscono i due sistemi standard.

ELEMENTO	SISTEMA STANDARD	
	ESTENSIVO	INTENSIVO
VEGETAZIONE	SEDUM / ERBACEE PERENNI	ARBUSTI + PRATO
SUBSTRATO	DAKU ROOF SOIL 2	DAKU ROOF SOIL 1
FILTRO/SEPARAZIONE IN TNT	DAKU STABIFILTER SFE	DAKU STABIFILTER SFI
ELEMENTO DI ACCUMULO E DRENAGGIO	DAKU FSD 20	
ELEMENTI IN ALLUMINIO	DAKU PRO + DAKU CONTROLLER	
GHIAIA DI DRENAGGIO PERIMETRIALE	SI	NO
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	NO	SI

Tabella 1 – Caratteristiche dei sistemi DAKU

3.1.1. Sistema Estensivo Standard

Il Sistema Estensivo Standard (di seguito abbreviato 'SES') è composto dai seguenti elementi:

- 1) SEDUM / ERBACEE PERENNI
- 2) DAKU ROOF SOIL_2 (con aggiunta di DAKU PLUS-E)
- 3) DAKU STABIFILTER SFE
- 4) DAKU FSD 20

Inoltre, il sistema include i seguenti elementi accessori:

- DAKU PRO
- DAKU CONTROLLER
- GHIAIA



Figura 1 - Sistema Estensivo Standard

3.1.1.1. VEGETAZIONE SES



Figura 2 – DAKU SEDUM

La vegetazione utilizzata nel SES è Sedum (in talee o rotoli) ed erbacee perenni (in vasetto).

I **Sedum** sono un genere di piante “succulente” e “xerofite” comprendenti numerosissime specie, appartengono alla famiglia delle Crassulaceae e sono adattati a vivere in ambienti estremi, caratterizzati da ridotta piovosità.

Sono considerate piante “rustiche” e “semirustiche” perché sopportano anche le basse temperature.

Il Sedum è una pianta carnosa che può essere sia di fusto eretto che pendente, quasi sempre a cespi e con foglie che possono essere rotonde, alternate, ovali o verticali.

I fiori possono essere sia solitari che riuniti in infiorescenze a corimbo, a grappolo o a pannocchia per lo più piccoli e a forma di stella e con i petali liberi.

Nei sistemi di copertura DAKU “estensivi”, viene utilizzata una miscela composta da alcune specie, solitamente 5 o 6 scelte a secondo del luogo e del contesto d’intervento. L’esperienza pluriennale ha reso possibile effettuare una naturale selezione delle varietà più adattabili e resilienti ad essere impiantate in copertura, l’eccezionale capacità di sopravvivenza dei Sedum alle condizioni più avverse ne fanno senza dubbio la scelta vegetazionale più adatta per i “tetti verdi” riducendo al minimo gli interventi di manutenzione ed irrigazione di soccorso.

Le varietà più utilizzate sono: Acre Majus, Kamtschaticum Diffusum, Album Coral Carpet, Spurium Fuldaglut, Album Athoum, Spurium Tricolor, Anopetalum Montanum, Weihenstephaner Gold, Sedum Spectabile, Mesembryanthemum; all’interno della miscela le specie sono presenti in diverse e specifiche percentuali in funzione della loro rapidità di sviluppo e durata nel tempo. A seconda delle condizioni climatiche del sito di installazione vengono aggiunte altre varietà di Sedum.

Tali specie di Sedum riescono inoltre a sopravvivere su stratificazioni poco profonde come gli 8 cm di substrato DAKU ROOF SOIL 2 previsto dal sistema estensivo.

Le **erbacee perenni** sono piante che non sviluppano strutture legnose come gli arbusti, ma nonostante questo sono in grado di sopravvivere al susseguirsi delle stagioni.

A seconda del tipo di contesto, dei tempi di copertura vegetale attesi e dalla finitura vegetale prevista può essere scelta la metodologia di impianto più adeguata: in talee, in zolla pre-vegetata o in vasetto.

Tipo di vegetazione	Sedum	Sedum	Erbacee perenni
Metodo di piantumazione	Talea	Zolla	Vasetto
Quantità specifiche	80-100 g/mq	1 n/mq	8-10 pz/mq

Tabella 2 - Quantità specifiche di vegetazione per la realizzazione di un Sistema Estensivo Standard

Le **talee di Sedum** son prodotte da Top Green srl di San Donà di Piave (VE).

Il **Sedum in zolle** è prodotto da Nordest Prati¹ di San Donà di Piave (VE). Nel caso in cui il cantiere sia molto distante si opta per un produttore locale nei pressi del sito di installazione.

¹ <https://www.nordestprati.it/>

I **vasetti di erbacee perenni** sono prodotti da vivai situati nei pressi del cantiere di installazione.

Nel 95% dei casi si utilizzano talee di Sedum, mentre la soluzione in zolle viene utilizzata nel restante 5% (generalmente nei tetti inclinati), nel caso in cui la committenza richieda tempi di copertura vegetale attesi e dalla finitura vegetale più brevi. Le erbacee perenni in vasetti è una soluzione adottata raramente (<1%).

3.1.1.2.DAKU ROOF SOIL_2



Figura 3 - DAKU ROOF SOIL_2

Il substrato alleggerito preconfezionato DAKU ROOF SOIL_2 è costituito da un miscuglio di **materiali minerali di origine vulcanica** opportunamente miscelati con **sostanze organiche** per essere efficacemente utilizzato nella realizzazione di coperture a verde pensile.

Esente da infestanti è composto principalmente da lapillo di lava e pietra pomice in diverse granulometrie, oltre che da un ammendante compostato torboso denominato DAKU KOMPOST.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 2 è caratterizzato da una granulometria e da specifiche tecniche ideali per la messa a dimora di erbacee perenni e Sedum.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 2 è conforme alle prescrizioni della normativa UNI 11235:2015. Può essere fornito in cantiere confezionato in big bags (in TNT) da 1 mc, in sacchetti da 33 litri, oppure sfuso anche per un eventuale pompaggio diretto sulle coperture.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 2 viene posato direttamente sul geotessile di filtro DAKU STABILFILTER SFE in spessore variabile, commisurato alle specifiche nonché diverse, esigenze delle varie specie vegetali utilizzabili.

I materiali minerali vengono prodotti da Europomice srl di Pitigliano (GR)², mentre il compost da Mirr srl di Tolentino (MC)³.

Il compost viene trasportato dallo stabilimento di Tolentino a quello di Pitigliano, ove viene mescolato coi materiali minerali.

3.1.1.3.DAKU PLUS-E

DAKU PLUS è un formulato a cessione controllata studiato per completare la miscela dei substrati DAKU ROOF SOIL 1 e 2 e favorire la nutrizione progressiva della vegetazione.

DAKU PLUS si basa sulla **tecnologia MultiCoTech MCT®** della Haifa Chemicals Ltd.

Composto in **granuli fertilizzanti** ricoperti da una speciale **membrana polimerica biodegradabile** che consente di regolare il rilascio graduale dei nutrienti in funzione della temperatura del terreno, su un arco temporale di diversi mesi. In questo formulato parte del prodotto è a pronto effetto, per garantire una adeguata ed immediata disponibilità degli elementi nutritivi nei momenti immediatamente successivi all'applicazione. L'acqua presente nel terreno veicola i nutrienti verso l'apparato radicale senza però influire sulla velocità di rilascio creando una sincronia tra il fabbisogno delle colture ed il rilascio degli elementi nutritivi.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 2 in fase di stesura, pre-coltivazione va integrato con il fertilizzante DAKU PLUS-E, fornito separatamente rispetto al mix per consentire l'ottimizzazione delle prestazioni del substrato al momento della posa della vegetazione.

Il fertilizzante viene fornito in confezioni da 5, 10 o 25 kg.

Il fertilizzante viene prodotto da "Starter Green A. E 2000 di Paganini Alessandro" di Castrocaro Terme (FC).

3.1.1.4.DAKU STABIFILTER SFE



² <https://www.europomice.it/>

³ <https://www.mirr.it/>

Figura 4 - DAKU STABILFILTER SFE

I filtri DAKU STABILFILTER sono costituiti da **geotessili** realizzati con fibre di polipropilene agugliato e termostabilizzato senza collanti o leganti chimici, di grande resistenza. Sono utilizzati come strato di separazione e feltro nella costruzione di sistemi a verde pensile e vengono posizionati tra lo strato di accumulo idrico e il substrato, sia per coperture piane che inclinate.

Il DAKU STABILFILTER ha una struttura fibrosa, omogenea e stabile, ad alta permeabilità e garantisce una filtrazione ottimale delle particelle fini presenti nei substrati DAKU ROOF SOIL o nell'inerte DAKU LAPILLO, non consentendone l'intasamento degli strati sottostanti nel tempo.

Il DAKU STABILFILTER è resistente alla decomposizione e al gelo, è ricco di capillari in grado di distribuire l'umidità uniformemente.

Grazie alla capacità di trasmissione capillare dell'umidità, l'acqua contenuta dagli elementi di accumulo idrico DAKU FSD attraverso un processo di risalita capillare viene trasferita e uniformemente ripartita sulla superficie del geotessile dove viene trasferita all'apparato radicale delle piante attraverso l'assorbimento graduale del substrato.

I filtri DAKU STABILFILTER, posizionati sui pannelli per accumulo idrico, sono fisicamente separati dalla falda artificiale costituita dalle celle di accumulo attraverso uno spazio d'aria che ne impedisce il contatto diretto con l'acqua.

I filtri DAKU STABILFILTER sono conformi alle prescrizioni della normativa UNI 11235/2015.

DAKU STABILFILTER SFE ha una densità di 220 gr/mq, con uno spessore di 1,35 mm.

I geotessili sono realizzati da Edilflor spa di Sandrigo (VI).⁴

3.1.1.5.DAKU FSD 20

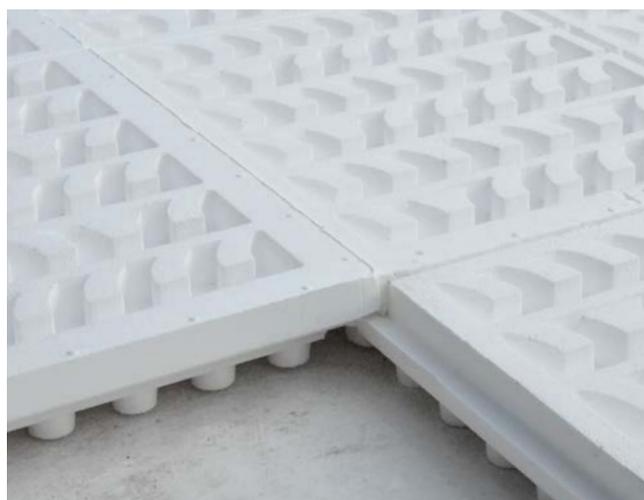


Figura 5 - DAKU FSD 20

⁴ <https://edilfloor.com/>

Gli elementi DAKU FSD 20 sono **pannelli** dallo spessore totale di 82 mm, realizzati in polistirene espanso sinterizzato, prodotti con materia prima esente da rigenerato. Utilizzati per il drenaggio dell'acqua e lo stoccaggio idrico nelle coperture sono forniti in lastre di colore bianco scarsamente infiammabili, battentate sui quattro lati, dalle dimensioni di 125x100 cm.

Gli elementi DAKU FSD 20 proteggono la stratigrafia impermeabile, immagazzinano l'acqua piovana e la restituiscono alla vegetazione attraverso un complesso processo di trasmissione (condensazione e micro-evaporazione) definito "acqua di diffusione" che consente alla vegetazione di disporre così di un ulteriore approvvigionamento idrico oltre all'acqua assorbita dal substrato e dal feltro. Conformi alla norma DIN 4095 (drenaggio a tutela degli edifici) creano uno strato protettivo alle sollecitazioni meccaniche per la stratigrafia impermeabile come previsto dalla normativa DIN 18195 parte 1 e DIN 18195 parte 10; la superficie di appoggio è resa altamente drenante da numerosi piedini a sezione tronco- conica. Possono essere utilizzati per la realizzazione di verde pensile intensivo ed estensivo sia su superfici piane che per tetti inclinati. Dotati di marcatura CE (secondo UNI EN 13163) assolvono secondariamente anche alla funzione di isolamento termico. La parte superiore del pannello presenta una serie parallela di celle, dotate di troppo pieno, che assolvono il compito di accumulo idrico con una capienza massima di ca lt. 13. Lo spazio presente tra la quota massima del troppo pieno e l'estradosso della lastra di 10 mm, rappresenta lo strato di aerazione superiore, necessario per impedire il contatto dell'acqua con il substrato. La parte inferiore presenta n° 252 piedini dal diametro di ca. 36 mm, e di altezza 20 mm, che attraverso una serie di 5 fori (diametro 15 mm) comunicanti con il troppo pieno e lo spazio di aerazione posto sulla faccia superiore ne consente il rialzamento dal piano di appoggio creando una camera drenante continua necessaria per consentire il deflusso dell'acqua non immagazzinabile all'interno del sistema. L'elemento DAKU FSD 20 è conforme alle prescrizioni della normativa UNI 11235/2015.

Gli elementi DAKU FSD 20 vengono posati a secco direttamente sulla stratigrafia impermeabile o sullo strato coibente in caso di tetti "rovesci", sia sfalsati che appaiati l'un l'altro, attraverso il battente perimetrale. In casi particolari e in mancanza di coibente potrebbe rendersi necessario uno strato di separazione tra l'impermeabilizzazione e gli elementi DAKU FSD 20.

I pannelli di polistirolo sono realizzati da L'isolante srl di Roverbella (MN).⁵

3.1.1.6. DAKU PRO e DAKU CONTROLLER

I componenti DAKU PRO e DAKU CONTROLLER sono elementi realizzati in lega di **alluminio-magnesio**.

DAKU PRO è un **elemento di separazione** tra i substrati DAKU ROOF SOIL ed altri materiali, profilato ad L, di lunghezza pari a 200 cm, altezza pari ad 8 o 17 cm, e spessore pari a 2 mm. Viene collegato alla struttura senza fissaggi meccanici, attraverso la saldatura a sandwich.

Gli elementi DAKU CONTROLLER sono **elementi di ispezione** di dimensione 25x25 cm con altezza standard di 10 cm e consentono l'ispezione degli scarichi in modo agevole e sicuro nelle fasi successive alla realizzazione del verde pensile.

⁵ <https://www.lisolante.it/>

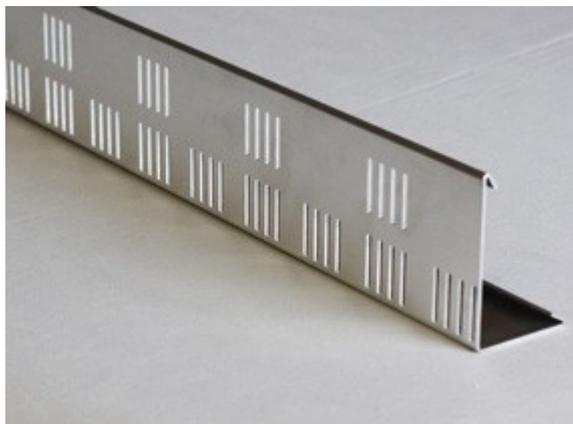


Figura 6 - DAKU PRO

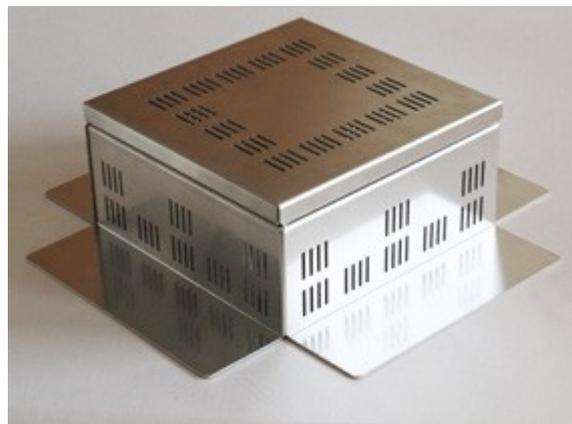


Figura 7 - DAKU CONTROLLER

Gli accessori DAKU CONTROLLER e DAKU PRO sono generalmente imballati in **scatole di cartone** o **protetti con pluriball e film in polietilene**, fatti in lega di alluminio-magnesio, e sono prodotti da Tecnesa Italia srl⁶ di Forlì (FC).

3.1.1.7.GHIAIA

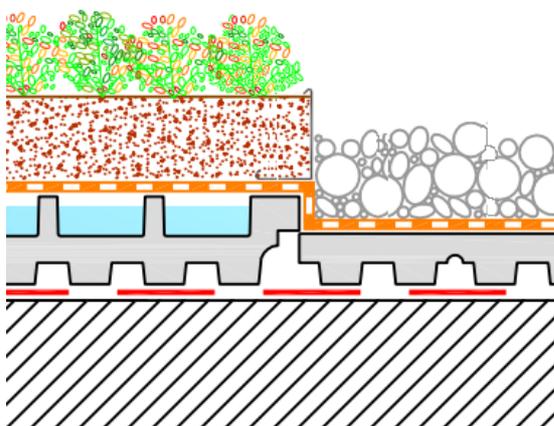


Figura 8 - Rappresentazione schematica di un SES DAKU con ghiaia

La ghiaia di fiume è un materiale inerte, di forma tonda, lavata, con granulometria dai 20 ai 30 mm.

La sua funzione è quella di **fascia di zavorramento**: uno strato di protezione e drenaggio perimetrale di sicurezza, di larghezza pari a 50 cm circa, per uno spessore massimo pari a quello del substrato stabilizzato.

La ghiaia viene acquistata da distributori locali.

⁶ <http://www.tecnesaitalia.it/>

3.1.2. Sistema Intensivo Standard

Il Sistema Intensivo Standard (di seguito abbreviato 'SIS') è composto dai seguenti elementi:

- 1) ARBUSTI + PRATO
- 2) DAKU ROOF SOIL_1 (con aggiunta di DAKU PLUS-I e DAKU MIX SEMINA)
- 3) DAKU STABIFILTER SFI
- 4) DAKU FSD 20

Inoltre, il sistema include i seguenti elementi accessori:

- DAKU PRO
- DAKU CONTROLLER
- IMPIANTO DI IRRIGAZIONE



Figura 9 - Sistema Intensivo Standard

3.1.2.1. VEGETAZIONE SIS

La vegetazione utilizzata nel SIS è costituita da arbusti (in vaso) ed un tappeto erboso (in semi o rotoli).

Gli **arbusti** sono piante legnose con altezza inferiore ai 5 metri, e vengono piantumati uno per ogni 5 mq di tetto. Vengono utilizzate preferibilmente specie e varietà autoctone. Le varietà più utilizzate sono: Cornus mas, Crataegus monogyna, Berberis vulgaris, Sambucus nigra, Myrtus communis, Laurus nobilis, ecc...

Il **tappeto erboso**, in rotoli e sementi, è costituito da **specie graminacee** per inerbimenti a pronto effetto, del tipo "microterme" o "macroterme" a seconda della zona climatica.

In fase di stesura il prato viene livellato e rullato.

Gli **arbusti in vasetto** sono prodotti da vivai situati nei pressi del cantiere di installazione.

Il **prato in rotoli** è prodotto da Nordest Prati di San Donà di Piave (VE).⁷ Nel caso in cui il cantiere sia molto distante si opta per un produttore locale nei pressi del sito di installazione.

Il **prato in semi** è prodotto da Bottos srl di San Vito al Tagliamento (PN).⁸

Nel 90% dei casi si utilizza il prato in semi, mentre la soluzione in rotoli viene utilizzata nel restante 10%, nel caso in cui la committenza richieda tempi di copertura vegetale attesi e dalla finitura vegetale più brevi.

Il prato in semi è fornito in scatole o sacchi di cartone da 10 kg.

3.1.2.2. DAKU ROOF SOIL_1

Il substrato alleggerito preconfezionato DAKU ROOF SOIL 1 è costituito da un miscuglio di **materiali minerali di origine vulcanica** opportunamente miscelati con **sostanze organiche** per essere efficacemente utilizzato nella realizzazione di coperture a verde pensile.

Esente da infestanti è composto principalmente da lapillo di lava e pietra pomice in diverse granulometrie, oltre che da un ammendante compostato torboso.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 1 è caratterizzato da una granulometria e da specifiche tecniche ideali per la messa a dimora di essenze arboree, arbustive e per tappeti erbosi.

Il substrato DAKU ROOF SOIL 1 è conforme alle prescrizioni della normativa UNI 11235:2015.

Per consentire il corretto attecchimento dei prati (qualora l'impianto avvenisse mediante semina) deve essere integrato superficialmente, per uno spessore pari al 20% dello spessore complessivo, con il **DAKU MIX SEMINA**, un formulato di allettamento necessario alla radicazione dei tappeti erbosi, costituito dagli stessi componenti del ROOF SOIL 1 in granulometria più fine.

Può essere fornito in cantiere confezionato in big bags da 1 mc, in sacchetti da 33 litri, oppure sfuso anche per un eventuale pompaggio diretto sulla copertura.

I produttori del ROOF SOIL 1 sono gli stessi del ROOF SOIL 2 (vedasi paragrafo 3.1.1.2).

3.1.2.3. DAKU PLUS-I

In fase di stesura, pre-coltivazione il substrato va integrato con il **fertilizzante DAKU PLUS-I**, fornito separatamente rispetto al mix per consentire l'ottimizzazione delle prestazioni del substrato al momento della posa della vegetazione.

Il fertilizzante è prodotto da "Starter Green A. E 2000 Di Paganini Alessandro" di Castrocara Terme (FC).

⁷ <https://www.nordestprati.it/>

⁸ <https://www.bottos1848.com/>

3.1.2.4.DAKU STABILFILTER SFI

DAKU STABILFILTER SFI è un geotessile analogo a quello utilizzato per il SES (vedasi paragrafo 3.1.1.4), con però diverse caratteristiche geometriche.

DAKU STABILFILTER SFI ha una densità di 260 gr/mq, con uno spessore di 1,50 mm.

3.1.2.5. DAKU FSD 20

Come per il SES (vedasi paragrafo 3.1.1.5).

3.1.2.6.DAKU PRO e DAKU CONTROLLER

Come per il SES (vedasi paragrafo 3.1.1.6).

3.1.2.7.IMPIANTO DI IRRIGAZIONE

L'impianto di irrigazione, a pioggia o a goccia, somministra lentamente acqua alla vegetazione.



Figura 10 - Impianto di irrigazione in fase in installazione

L'impianto di irrigazione comprende:

- **tubature e raccordi** con diametri da 16 e 32 mm;
- **gocciolatoi** auto-compensanti, in grado di mantenere una portata costante e garantire una corretta e omogenea distribuzione dell'acqua (solo nel caso di impianto a goccia);
- **irrigatori** a pioggia (solo nel caso di impianto a pioggia).

Tutti i componenti dell'impianto sono in **materiale plastico riciclabile** (poliestere e polipropilene).

L'impianto è tenuto in pressione generalmente dall'impianto idrico dell'edificio su cui viene installato, perciò non è prevista l'installazione di una elettro-pompa.

3.2. Unità di riferimento

Al momento della redazione del presente documento non risultano essere presenti PCR specifiche per il sistema tetti verdi, perciò è stata utilizzata la PCR 2019:14 per i prodotti da costruzione sviluppata dall'International EPD® System.

Come unità di riferimento per l'analisi LCA è stata scelta un' **Unità Dichiarata** (in seguito abbreviato con 'UD') e non un'unità funzionale, in quanto non è disponibile una PCR complementare (vedasi paragrafo 4.1 della PCR 2019:14).

L'unità dichiarata è pari ad **1 mq di sistema tetto verde**, ed è valida per entrambi i sistemi standard di DAKU (SES e SIS).

3.3. Confini del sistema

In Tabella 3 sono riportate tutte le fasi (e relativi moduli) del ciclo di vita di un prodotto da costruzione "dalla culla alla tomba", come descritto nella PCR "Construction Product" 2019:14 a cui si fa riferimento.

Non è disponibile una PCR complementare specifica per i tetti verdi, perciò, in base a quanto riportato nella PCR di riferimento, non è possibile includere tutti i moduli da A a D nei confini del sistema.

Le fasi obbligatorie da includere nei confini del sistema sono:

- fase di produzione (moduli A1-A3);
- fase di fine vita (moduli C1-C4);
- benefici oltre i confini del sistema (modulo D).

Ai suddetti si aggiungono come moduli opzionali quelli relativi alla:

- fase di installazione (moduli A4 e A5);
- fase di utilizzo (modulo B1).

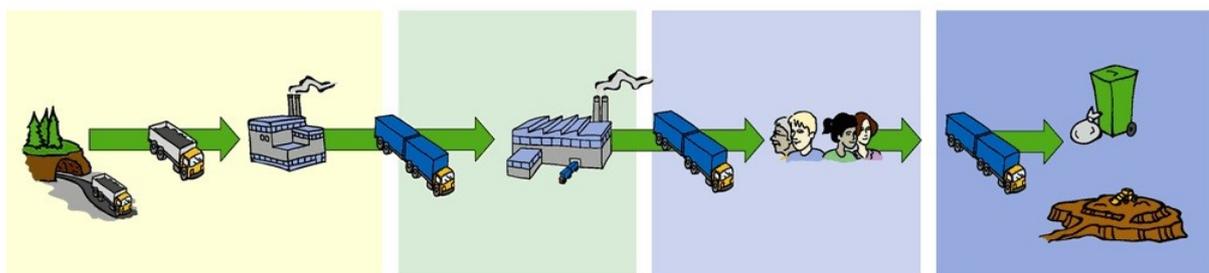


Figura 11 - Rappresentazione del ciclo di vita "dalla culla alla tomba"

Modulo	Fase del ciclo di vita	Descrizione del modulo	Dichiarazione Ambientale
A1	Fase di produzione	Estrazione ed elaborazione delle materie prime	Obbligatorio
A2		Trasporto al sito produttivo delle materie prime	Obbligatorio
A3		Produzione del prodotto	Obbligatorio
A4	Fase di installazione	Trasporto al sito di installazione	Opzionale - incluso
A5		Installazione in sito	Opzionale - incluso
B1	Fase di utilizzo	Uso	Opzionale - incluso
B2		Manutenzione	Opzionale - escluso
B3		Riparazione	Opzionale - escluso
B4		Sostituzione	Opzionale - escluso
B5		Ristrutturazione	Opzionale - escluso

Modulo	Fase del ciclo di vita	Descrizione del modulo	Dichiarazione Ambientale
B6		Uso dell'energia	Opzionale - escluso
B7		Uso di acqua	Opzionale - escluso
C1	Fase di fine vita	Smontaggio, demolizione	Obbligatorio
C2		Trasporto al centro di trattamento rifiuti	Obbligatorio
C3		Trattamento dei rifiuti per il riuso, recupero e/o riciclo	Obbligatorio
C4		Smaltimento in discarica	Obbligatorio
D	Benefici oltre i confini del sistema	Riuso, recupero e/o riciclo potenziali	Obbligatorio

Tabella 3 - Fasi del ciclo di vita di un prodotto da costruzione secondo la EN 15804

3.4. Qualità dei dati

Per lo studio viene utilizzato il codice di calcolo SimaPro 9. Tutte le unità di processo utilizzate sono estrapolate dalle banche dati (Ecoinvent v3.4, ELCD v3.2, Industry data 2.0) collegate al software.

I dati primari sono riferiti all'anno 2019.

3.5. Quantificazioni dei flussi di materia

3.5.1. Componenti dei sistemi

I due sistemi realizzati da Daku Italia hanno alcuni elementi in comune.

In Tabella 4 e Tabella 6 sono riportate le quantità massive di ogni componente per realizzare un'unità dichiarata, pari a 1 mq di tetto verde, mentre in Tabella 5 e Tabella 7 la relativa ripartizione per tipologia di materiale.

Componente	Quantità	
	[kg/mq]	%
SEDUM IN TALEE	0,100	0,11%
DAKU ROOF SOIL 2	73,029	81,42%
DAKU PLUS-E	0,064	0,07%
DAKU STABIFILTER SFE	0,220	0,25%
DAKU FSD 20	1,185	1,32%
DAKU PRO + CONTROLLER	0,092	0,10%
GHIAIA	15,000	16,72%
Totale	89,690	100,00%

Tabella 4 - Composizione di 1 mq di SES

Tipologia di componente	Quantità	
	[kg/mq]	%
ORGANICO / MINERALE	88,193	98,3%
PLASTICO	1,405	1,6%
ALLUMINIO	0,092	0,1%
Totale	89,690	100,00%

Tabella 5 – Composizione per tipologia di materiale di 1 mq di SES

Componente	Quantità	
	[kg/mq]	%
PRATO IN SEMI	0,050	0,04%
ARBUSTO	0,200	0,15%
DAKU ROOF SOIL 1	133,259	98,55%
DAKU PLUS-I	0,075	0,06%
DAKU STABIFILTER SFI	0,260	0,19%
DAKU FSD 20	1,185	0,88%
DAKU PRO + CONTROLLER	0,092	0,07%
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	0,101	0,07%
Totale	135,223	100,00%

Tabella 6 - Composizione di 1 mq di SIS

Tipologia di componente	Quantità	
	[kg/mq]	%
ORGANICO / MINERALE	133,584	98,8%
PLASTICO	1,546	1,1%
ALLUMINIO	0,092	0,1%
Totale	135,223	100,0%

Tabella 7 – Composizione per tipologia di materiale di 1 mq di SIS

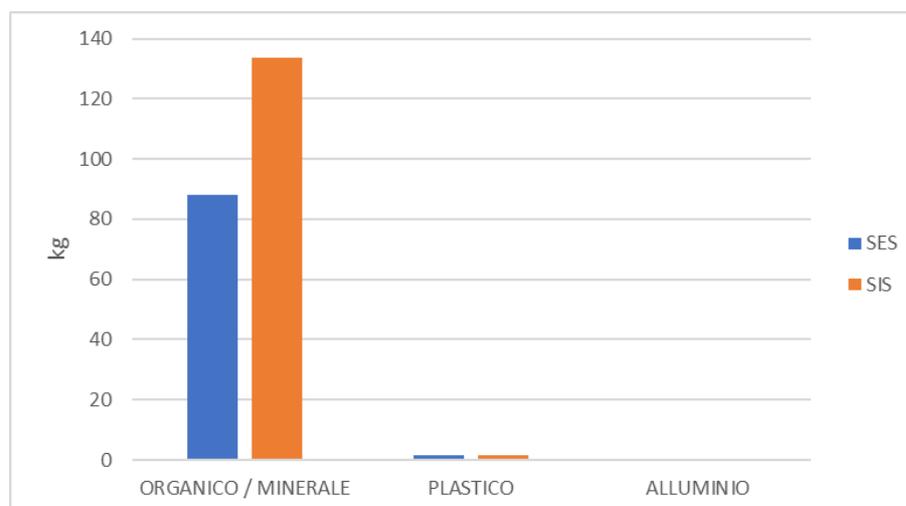


Figura 12 - Composizione per tipologia di materiale di 1 mq di SES e SIS

Confrontando la composizione massiva dei due sistemi standard DAKU si denota che:

- il peso specifico per unità di superficie del SIS è superiore del 50% rispetto a quello del SES, in quanto il substrato ha uno spessore quasi doppio;
- la quantità di plastica presente nel SIS è superiore del 10% rispetto a quella presente nel SES poiché è presente un impianto di irrigazione;
- in entrambi almeno il 98% dei componenti è costituito da materiale organico/minerale;
- la quantità di alluminio è la stessa in entrambi, ed è pari allo 0,1% del totale in termini massivi.

3.5.1.1. Carbonio Biogenico nei componenti

Gli unici componenti dei Sistemi Standard Daku con un contenuto di carbonio biogenico sono la vegetazione (sedum in talee, prato in semi e arbusti) ed il compost (frazione del substrato ROOF SOIL).

Nella vegetazione il peso del carbonio biogenico è stato ricavato a partire dalla formula chimica del glucosio ($C_6H_{12}O_6$), il prodotto della fotosintesi clorofilliana.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$C \text{ nella vegetazione} = \frac{\text{peso atomico } C * 6}{\text{peso molecolare } C_6H_{12}O_6} = 40\%$$

Nel compost la quota di carbonio biogenico è pari al valor medio di Carbonio Organico Totale (COT) ottenuto dalle prove di laboratorio del fornitore.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$C \text{ nel compost} = (1 - \text{umidità relativa}) * COT = 19\%$$

La suddetta quota (19%) è stata poi moltiplicata per la frazione di compost rispetto a quella del ROOF SOIL (4% per il SES, 8% per il SIS), calcolata nei paragrafi 4.1.1.2 e 4.2.1.2.

Componente	Carbonio biogenico	
	Quota [%]	Quantità [kg/mq]
SEDUM IN TALEE	40%	0,040
DAKU ROOF SOIL 2	2%	1,112
ALTRI COMPONENTI	0%	0,000
Totale	1%	1,152

Tabella 8 – Carbonio biogenico nei componenti di 1 mq di SES

Componente	Carbonio biogenico	
	Quota [%]	Quantità [kg/mq]
PRATO IN SEMI	40%	0,020
ARBUSTO	40%	0,080
DAKU ROOF SOIL 1	1%	1,101
ALTRI COMPONENTI	0%	0,000
Totale	1%	1,201

Tabella 9 – Carbonio biogenico nei componenti di 1 mq di SIS

In entrambi i sistemi il carbonio biogenico è pari a circa 1,2 kg/mq, con una quota sul peso totale del sistema inferiore al 2%.

3.5.2. Packaging dei sistemi

Durante la fase di installazione tutto il packaging dei componenti dei sistemi Daku viene inviato al centro di trattamento rifiuti municipale per il riciclo, in quanto composto da cartone, pellicola film in polietilene e big bag in fibra di polipropilene. Alcuni componenti vengono forniti sfusi (Sedum in talee, ghiaia ed impianto di irrigazione). Nel bilancio di massa del packaging sono stati esclusi quello del fertilizzante PLUS (entrambi i sistemi), poiché la quantità è trascurabile, ed i vasi degli arbusti (solo SIS) poiché vengono restituiti al vivaio.

In Tabella 10 e Tabella 12 sono riportate le quantità massive di packaging per realizzare un'unità dichiarata, pari a 1 mq di tetto verde, mentre in Tabella 11 e Tabella 13 la relativa ripartizione per tipologia di materiale.

Componente	Packaging	Quantità	
		[kg/mq]	%
SEDUM IN TALEE	Nessuno	0,000	0%
DAKU ROOF SOIL 2	Big bag in polipropilene (PP)	0,108	67%
DAKU PLUS-E	Escluso	0,000	0%
DAKU STABIFILTER SFE	Film in polietilene (PET)	0,008	5%
DAKU FSD 20	Film in polietilene (PET)	0,038	23%
DAKU PRO + CONTROLLER	Scatole in cartone	0,009	6%
GHIAIA	Nessuno	0,000	0%
Totale		0,163	100%

Tabella 10 – Packaging per la realizzazione di 1 mq di SES

Tipologia di packaging	Quantità	
	[kg/mq]	%
Cartone	0,009	6%
Plastica (PP e PET)	0,153	94%
Totale	0,163	100,00%

Tabella 11 – Tipologia di packaging per la realizzazione di 1 mq di SES

Componente	Packaging	Quantità	
		[kg/mq]	%
PRATO IN SEMI	Scatole in cartone	0,005	2%
ARBUSTO ⁹	Vaso in polietilene (PET)	0,000	0%
DAKU ROOF SOIL 1	Big bag in polipropilene (PP)	0,203	77%
DAKU PLUS-I	Escluso	0,000	0%
DAKU STABIFILTER SFI	Film in polietilene (PET)	0,008	3%
DAKU FSD 20	Film in polietilene (PET)	0,038	14%
DAKU PRO + CONTROLLER	Scatole in cartone	0,009	4%
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	Nessuno	0,000	0%
Totale		0,262	100,00%

Tabella 12 - Packaging per realizzazione di 1 mq di SIS

Tipologia di packaging	Quantità	
	[kg/mq]	%
Cartone	0,014	5%
Plastica (PP e PET)	0,248	95%
Totale	0,262	100,0%

Tabella 13 – Tipologia di packaging per la realizzazione 1 mq di SIS

3.5.2.1. Carbonio Biogenico nel packaging

Gli unici packaging con un contenuto di carbonio biogenico sono il cartone usato per il confezionamento degli elementi in alluminio (entrambi i sistemi) e del prato in semi (solo SIS).

Il carbonio biogenico contenuto nel cartone è stato ricavato a partire dalla quantità di CO₂ biogenica immobilizzata, riportata nella dichiarazione ambientale “Cartone e impronta al carbonio” realizzata da Pro-Carton¹⁰, associazione europea dei produttori di cartone.

La CO₂ biogenica dichiarata è pari a 0,73 kg_{CO₂}/kg_{cartone}.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$C \text{ nel cartone} = CO_2 \text{ biogenica} * \frac{\text{peso molecolare C}}{\text{peso molecolare CO}_2} = 20\%$$

⁹ Il vaso viene restituito al vivaio.

¹⁰ <https://www.procarton.com>

Tipologia di packaging	Carbonio biogenico	
	Quota [%]	Quantità [kg/mq]
Cartone	20%	0,0018
Plastica (PP e PET)	0%	0,0000
Totale	1%	0,0018

Tabella 14 – Carbonio biogenico nel packaging di 1 mq di SES

Tipologia di packaging	Carbonio biogenico	
	Quota [%]	Quantità [kg/mq]
Cartone	20%	0,0028
Plastica (PP e PET)	0%	0,0000
Totale	1%	0,0028

Tabella 15 – Carbonio biogenico nel packaging di 1 mq di SIS

Nel packaging di entrambi i sistemi il carbonio biogenico è pari a circa 2-3 g/mq, con una quota sul peso totale del packaging inferiore al 2%.

3.6. Tetti verdi prodotti nel 2019

Nel 2019 DAKU ha realizzato in totale **32.724 mq di tetti verdi**, di cui il 99% in Italia.

Nella Tabella 16 si riportano i metri quadri di tetto verde realizzati in ogni singola regione italiana, e le coordinate geografiche dei relativi capoluoghi.

Regione	Quantità [mq]	Coordinate geografiche del capoluogo
Emilia-Romagna	6.018	44°30'38"N 10°57'25"E
Friuli-Venezia Giulia	946	45°38'10"N 13°48'15"E
Lazio	770	41°53'35"N 12°28'58"E
Liguria	3.493	44°24'25.9"N 8°56'02.4"E
Lombardia	4.643	45°35'08"N 9°55'49"E
Marche	720	43°37'00"N 13°31'00"E
Piemonte	2.076	45°04'N 7°42'E
Sardegna	518	40°03'N 9°05'E
Toscana	2.308	43°46'17"N 11°15'15"E
Trentino	40	46°04'N 11°07'E
Veneto	10.882	45°26'23"N 12°19'55"E
Spagna (Ibiza)	310	38°59'N 1°26'E
Totale	32.724	44°46'28" N 10°55'18" E

Tabella 16 - Quantità di tetti verdi realizzati da DAKU nel 2019 suddivisi per regione

Le coordinate geografiche del **sito di realizzazione rappresentativo** della produzione 2019, necessarie per il calcolo della distanza media percorsa dai mezzi di trasporto dai siti produttivi dei

componenti al cantiere, sono state calcolate come baricentro degli n capoluoghi di regione, ponderato in base alla quantità di metri quadri (m_q) realizzati nella regione stessa.

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti:

$$Latitudine_{sito} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n}(Latitudine_j * m_{q_j})}{\sum_{j=1}^{j=n}(m_{q_j})}$$

$$Longitudine_{sito} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n}(Longitudine_j * m_{q_j})}{\sum_{j=1}^{j=n}(m_{q_j})}$$

Le coordinate geografiche ottenute corrispondono ad un comune a Nord di Modena, come rappresentato nella seguente figura.

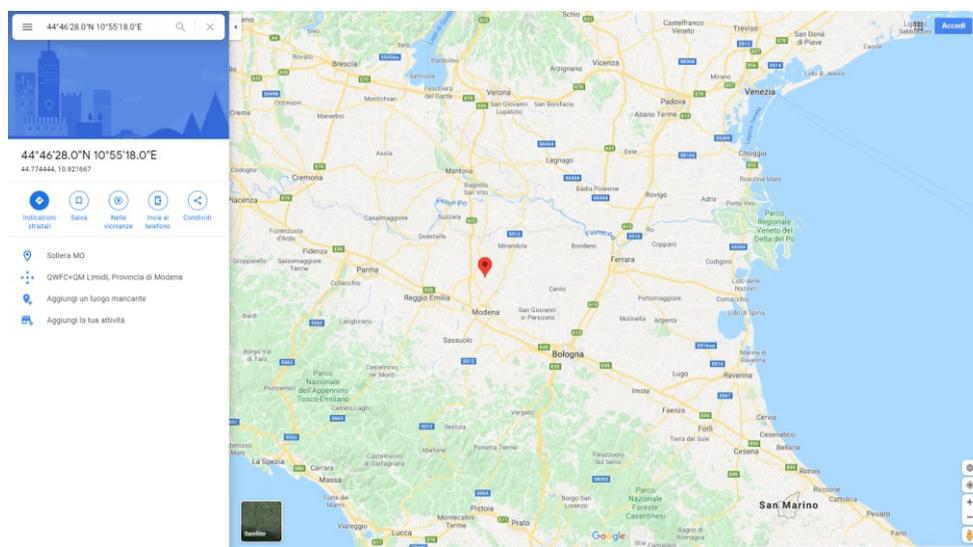


Figura 13 - Geolocalizzazione del sito rappresentativo delle applicazioni 2019 di DAKU (cartografia: Google Maps)

Questo risultato conferma che principalmente i cantieri realizzati da Daku sono in Nord Italia.

3.7. Consumi di energia nella sede di DAKU

Nel presente paragrafo si descrivono ed analizzano i consumi energetici dell'Organizzazione nelle proprie sedi, con lo scopo di allocarli nella fase di produzione (modulo A1-A3) della presente analisi LCA.

DAKU ha tre sedi, dislocate nel Nord Italia. A San Donà di Piave (VE) si trova la sede centrale, mentre a Forlì e Cuorné (TO) ci sono due sedi commerciali.

Lo stoccaggio viene svolto principalmente in aree dedicate presso gli stabili appartenenti agli installatori della rete di imprese di cui DAKU svolge il ruolo di Main Contractor. Presso la sede centrale è presente un piccolo magazzino, dove vengono stoccati eventuali avanzi di materiale relativo ai cantieri del Triveneto.

Le sedi sono costituite da uffici, in cui sono svolte le attività di progettazione ed amministrazione. Da un punto di vista energetico sono dotate di forniture di energia elettrica e termica (gas naturale e

pellet) per alimentare gli impianti di climatizzazione, illuminazione e le apparecchiature elettriche da ufficio (pc, server, stampanti, ecc.). Per le sedi di San Donà e Cuorné l'Organizzazione è intestataria delle fatture energetiche, mentre per la sede di Forlì i consumi sono stati stimati conservativamente in funzione della superficie climatizzata¹¹, in quanto i costi energetici non sono disponibili (sono inclusi nel contratto di locazione).

Infine, sempre presso le sedi operative, è presente una flotta aziendale di automobili utilizzate per attività commerciali.

Non essendoci attività di produzione presso le sedi operative, non è possibile ripartire i consumi energetici tra i singoli prodotti realizzati dall'Organizzazione. Si è quindi ipotizzato, per ogni vettore energetico, che il consumo associato all'installazione di 1 mq di tetto verde generico (SES o SIS) sia pari al rapporto tra il totale del consumo del vettore energetico ed il totale annuo dei metri quadrati di sistemi a tetto verde realizzati nel 2019 da DAKU (vedasi paragrafo 3.6).

3.7.1. Consumi di energia elettrica

L'energia elettrica totale consumata nelle sedi di Daku per l'anno 2019 è stata pari a 5,95 MWh.

Sede Daku	Consumo annuo [kWh]	Fonte
San Donà di Piave	3.945	Fatture energetiche
Forlì	1300	Stima
Cuorné	708	Fatture energetiche
Totale	5.953	Calcolo

Tabella 17 – Costi e consumi 2019 di energia elettrica nelle sedi di Daku Italia

In termini assoluti, la sede di San Donà di Piave (VE) è quella col maggior consumo di energia elettrica.

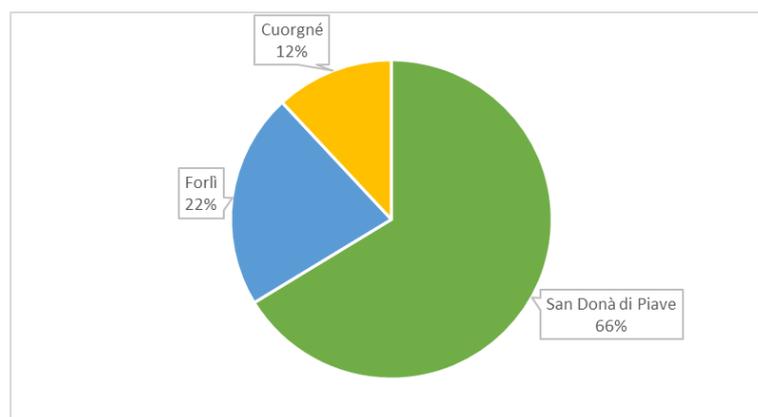


Figura 14 - Ripartizione dei consumi di energia elettrica [in kWh] tra le sedi di Daku

¹¹ La superficie climatizzata della sede di Forlì è pari a circa un quinto di quella della sede di San Donà.

Il consumo di energia elettrica nelle sedi di Daku associato alla produzione di 1 mq di tetto verde è pari a **0,182 kWh/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Consumi energia elettrica (UD)} = \frac{\text{Consumo totale energia elettrica}}{\text{Totale di mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mq}} \right]$$

3.7.2. Consumi di gas naturale

Il gas naturale totale consumato nelle sedi di Daku per l'anno 2019 è stato pari a 1.390 Smc.

Sede Daku	Consumo annuo [Smc]	Fonte
San Donà di Piave	1.115	Fatture energetiche
Forlì	275	Stima
Totale	1.390	Calcolo

Tabella 18 – Costi e consumi 2019 di gas naturale nelle sedi di Daku Italia

In termini assoluti, la sede di San Donà di Piave (VE) è quella con il maggior consumo di gas naturale.

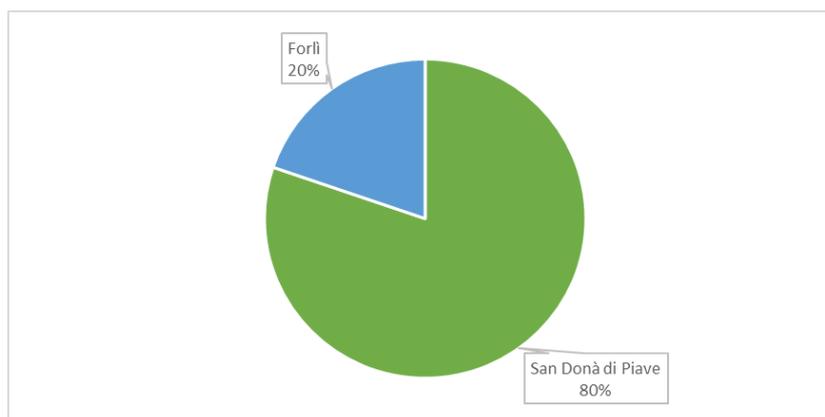


Figura 15 - Ripartizione dei consumi di gas naturale [in Smc] tra le sedi di Daku

Il consumo di gas naturale nelle sedi di Daku associato alla produzione di 1 mq di tetto verde è pari a **0,042 Smc/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Consumi gas naturale (UD)} = \frac{\text{Consumo totale gas naturale}}{\text{Totale di mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{Smc}}{\text{mq}} \right]$$

3.7.3. Consumi di pellet

Il pellet totale consumato nella sede di Cuorné per l'anno 2019 è stato pari a 675 kg.

Sede Daku	Consumo annuo [kg]	Fonte
Cuorné	675	Fatture energetiche
Totale	675	

Tabella 19 – Costi e consumi 2019 di pellet nelle sedi di Daku Italia

Il consumo di pellet associato alla produzione di 1 mq di tetto verde è pari a **0,021 kg/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Consumi pellet (UD)} = \frac{\text{Consumo totale pellet}}{\text{Totale di mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mq}} \right]$$

3.7.4. Consumi di gasolio per autotrazione

La flotta aziendale è costituita da n. 4 autoveicoli, tutti alimentati a gasolio.

I costi sono stati ricavati dalle carte carburante dei mezzi, mentre i consumi volumetrici sono stati stimati ipotizzando un costo medio di 1,45 €/l. La distanza percorsa è stata rilevata dal contachilometri dei mezzi.

Nella seguente tabella si riportano i dettagli di consumo per ogni veicolo.

Modello del mezzo	Classe ambientale	Costi gasolio [€]	Consumi gasolio [l]	Distanza percorsa [km]
Citroen C5	E5	6.341	4.370	53.000
BMW 1	E6	3.991	2.750	48.400
Jeep Renegade	E6	10.097	6.940	63.000
Citroen C4	E5	3.052	2.100	29.000
TOTALE		23.481	16.194	193.400

Tabella 20 – Consumi 2019 della flotta automezzi di Daku Italia

Nel 2019 la flotta aziendale di Daku Italia ha consumato in totale 16.194 litri di gasolio e percorso 193.400 km, con un consumo specifico medio pari a 12 km/l.

Il consumo volumetrico di gasolio associato alla produzione di 1 mq di tetto verde è pari a **0,49 l/mq**, mentre la distanza percorsa è pari a **5,91 km/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Consumi di gasolio (UD)} = \frac{\text{Consumo totale di gasolio}}{\text{Totale di mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{l}}{\text{mq}} \right]$$

$$\text{Distanza percorsa (UD)} = \frac{\text{Distanza percorsa totale}}{\text{Totale di mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{km}}{\text{mq}} \right]$$

3.7.5. Consumi totali di energia

Nella seguente tabella sono riepilogati i consumi totali di energia nelle sedi di Daku Italia per la produzione di 1 mq di tetto verde, convertiti in tonnellate equivalenti di petrolio.

Vettore energetico	Quantità [tep]
Energia elettrica	1,1
Gas naturale	1,2
Gasolio per autotrazione	13,9
Pellet	0,3
Totale	16,5

Tabella 21 - Consumi energetici totali 2019 per la produzione di 1 mq di tetto verde¹²

Si denota che il principale centro di consumo energetico è la flotta aziendale in termini assoluti (84%).

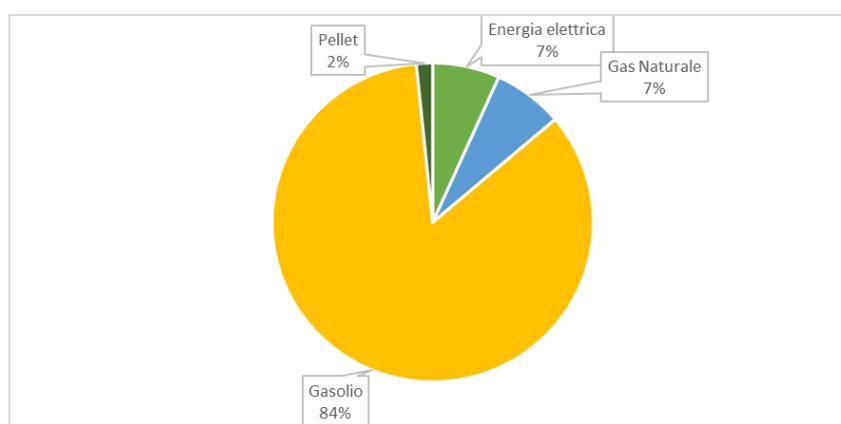


Figura 16 - Ripartizione dei consumi di energia primaria nelle sedi di Daku Italia

Il consumo specifico di energia primaria nelle sedi dell'Organizzazione per la realizzazione di un 1 mq di tetto verde è pari a **0,000503 tep/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Consumi energia primaria (UD)} = \frac{\text{Consumo totale energia primaria}}{\text{Totale mq di tetto verde}} \left[\frac{\text{tep}}{\text{mq}} \right]$$

3.8. Criteri di cut-off

Sono esclusi dall'analisi LCA, in accordo con la PCR di riferimento:

- gli impatti relativi a infrastrutture, costruzioni, attrezzature di produzione e strumenti che non sono direttamente consumati nel processo di produzione;
- gli impatti relativi al personale, come il trasporto da e per il lavoro.

Il **fertilizzante PLUS-E e PLUS-I** è un composto in granuli ricoperti da una speciale membrana polimerica biodegradabile che consente di regolare il rilascio graduale dei nutrienti, basata sulla tecnologia

¹² **Fattori di conversione:** Energia elettrica 0,000187 tep/kWh – Gas naturale 0,000836 tep/Smc - Gasolio 0,00086 tep/l – Pellet 0,0004 tep/kg

MultiCoTech (MCT®) della Haifa Chemicals Ltd, autorizzata in base alla normativa vigente¹³. Non è stato trovato nei database di Simapro un processo rappresentativo per la produzione della suddetta membrana, perciò è stato escluso dall'analisi.

Le restanti **fasi di utilizzo** (moduli da B2 a B7) del tetto verde sono state escluse dalla presente analisi, in quanto sono molto variabili in funzione dei seguenti parametri:

- tipologia di vegetazione utilizzata;
- piovosità e geolocalizzazione del sito;
- sistema di gestione delle acque meteoriche dell'edificio;
- dimensioni, posizione ed orientamento del tetto verde.

4. Analisi di inventario

Nel presente paragrafo si descrivono i processi e dataset utilizzati per la modellizzazione dei sistemi standard all'interno del software Simapro.

4.1. Sistema Estensivo Standard

Di seguito si descrivono i processi utilizzati per la modellizzazione di 1 mq di SES.

4.1.1. Product stage (A1+A2+A3)

Tutti i componenti di DAKU sono prodotti da terzi e consegnati direttamente presso il cantiere di installazione, perciò i 3 moduli upstream della fase di produzione, dalla culla fino al cancello delle aziende fornitrici, sono aggregati.

Per ogni componente è stata inclusa la produzione del relativo packaging, ad eccezione di quelli con massa inferiore allo 0,1% del totale di un'unità dichiarata.

Tutti i processi sono basati su dati generici disponibili nei database di Simapro, riepilogati nella Tabella 22 e descritti nei seguenti sotto-paragrafi. I database utilizzati, aggiornati tutti ad aprile 2018, sono:

- Ecoinvent 3.4;
- ELCD 3.2.

I processi presi dal database Ecoinvent sono tutti di tipo:

- cut-off, non tiene conto di alcun beneficio relativo al riciclaggio di un materiale;
- unit, per poter aver uno zoom dei sotto-processi inclusi;
- market, contengono tutti gli input per realizzare un prodotto o servizio, incluso il trasporto sino allo stabilimento produttivo.

¹³ Decreto legislativo 29 Aprile 2010, n° 75 - Allegato 6 Prodotti ad azione specifica

Nome processo	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità	Unità di misura
Produzione di DAKU ROOF SOIL 2	Compost {RoW} treatment of bio-waste, industrial composting Cut-off, U	Ecoinvent	5,743	kg
	Pumice {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	67,286	kg
	Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S	ELCD	0,108	kg
Produzione di DAKU PLUS-E	Nitrogen fertiliser, as N {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,010	kg
	Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,009	kg
	Potassium fertiliser, as K2O {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,008	kg
Produzione di DAKU STABIFILTER SFE	Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S	ELCD	0,220	kg
	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,008	kg
Produzione di DAKU FSD 20	Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant RER	ELCD	1,185	kg
	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,038	kg
Produzione di DAKU PRO e DAKU CONTROLLER	Aluminium extrusion profile, primary prod., prod. mix, aluminium semi-finished extrusion product RER S	ELCD	0,092	kg
	Corrugated board box {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent	0,009	kg
Produzione di ghiaia	Gravel, round {RoW} market for gravel, round Cut-off, U	Ecoinvent	15,000	kg
Produzione di energia elettrica	Electricity, low voltage {IT} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,182	kWh
Produzione di calore	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW Cut-off, U	Ecoinvent	0,434	kWh
Flotta automobilistica aziendale	Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 {RER} transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 Cut-off, U	Ecoinvent	5,910	km

Tabella 22 - Unità di processo upstream relative alla fase di produzione di 1 mq di SES

4.1.1.1. Produzione della vegetazione SES

La vegetazione del SES, a seconda del tipo di contesto, dei tempi di copertura vegetale attesi e dalla finitura vegetale prevista, può essere piantato in talee, in zolla pre-vegetata o in vasetto.

Per la presente analisi si è scelta la soluzione **Sedum in talee**, in quanto è la soluzione usata nel 95% dei casi.

La talea è una tecnica di moltiplicazione vegetativa ad impatto zero, con la quale si ottengono piantine in modo più rapido rispetto alla semina, e si evitano i costi energetici della produzione in vasetto all'interno di serre. Si tratta di recidere manualmente delle piccole porzioni da una pianta, di solito rametti, e metterle a radicare finché non si trasformano in piantine autonome.

La produzione di talee è un lavoro completamente manuale, il quale utilizza parti di piante che altrimenti sarebbero state potate. Di conseguenza si può concludere che questo processo non ha alcun impatto ambientale e lo si esclude dalla presente analisi LCA.

4.1.1.2. Produzione di DAKU ROOF SOIL 2

Il DAKU ROOF SOIL 2 è prodotto da Europomice s.r.l. nello stabilimento di Pitigliano (GR).

Nella seguente tabella si riporta la "ricetta volumetrica" utilizzata per la produzione del substrato del SES.

Componente	Quota volumetrica
Lapillo di lava	53,6%
Pietra Pomice	35,7%
Compost organico	10,7%

Tabella 23 - Composizione volumetrica di DAKU ROOF SOIL 2

Il substrato è costituito principalmente da materiale inerte di origine vulcanica (lapillo di lava e pietra pomice), a cui viene aggiunta una piccola quota di compost organico. In Figura 17 è riportata la ripartizione in termini massivi, mentre in Tabella 24 sono riportate le caratteristiche geometriche di DAKU ROOF SOIL 2.

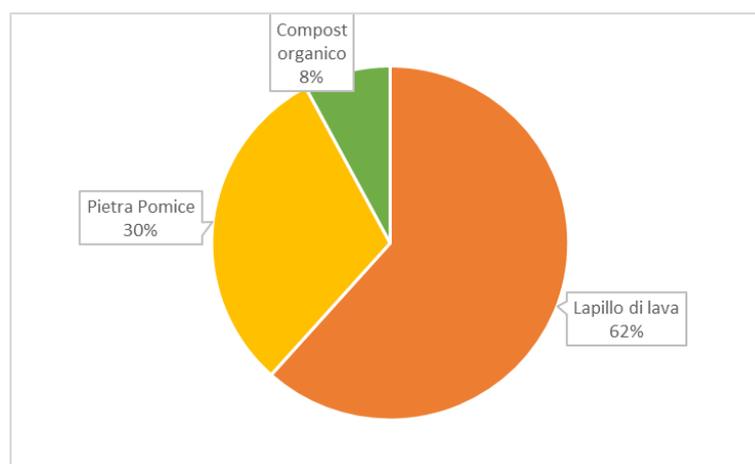


Figura 17 - Ripartizione massiva dei componenti di DAKU ROOF SOIL 2

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte
Peso a potenziale saturazione (UNI EN 13041)	1.424	kg/mc	Datasheet
Peso a saturazione di campo	1.073	kg/mc	Datasheet
Spessore	0,08	m	Datasheet
Peso medio annuo ¹⁴	913	kg/mc	Calcolo
Volume (Unità Dichiarata)	0,08	mc/mq	Calcolo
Massa (Unità Dichiarata)	73,03	kg/mq	Calcolo

Tabella 24 - Caratteristiche geometriche di DAKU ROOF SOIL 2

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Volume (UD) = \frac{Spessore * Unità Dichiarata}{Unità Dichiarata} \left[\frac{mc}{mq} \right]$$

$$Massa (UD) = Volume (UD) * Peso medio annuo \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

Nella seguente tabella si riportano le masse dei componenti che costituiscono un'Unità Dichiarata di SES:

Componente	Quantità [kg/mq]
Lapillo di lava	45,00
Pietra Pomice	22,29
Compost organico	5,74
Totale	73,03

Tabella 25 - Composizione di DAKU ROOF SOIL 2 per la realizzazione di 1 mq di SES

Lapillo di lava e **pietra pomice** sono due minerali di origine vulcanica, le cui fasi di produzione sono:

- scavo e frantumazione della roccia;
- trasporti all'interno della miniera;
- lavaggio del minerale;
- uso e ri-coltivazione del suolo.

Nei database in Simapro non è stato trovato un dataset per la produzione di lapillo di lava, perciò è stato usato per entrambi i minerali il seguente processo, relativo alla produzione mondiale di pomice:

- Pumice {GLO} | market for | Cut-off, U

La produzione del **compost organico** è un processo di decomposizione e umidificazione controllata di materiali biodegradabili, in un ambiente controllato aerobico, il quale permette lo sviluppo di batteri

¹⁴ Il peso del substrato è variabile durante l'anno in base all'umidità di cava. Il **peso medio annuo** e la **ripartizione massiva** sono stati ricavati a partire dalla composizione volumetrica (Tabella 23), considerando le seguenti densità medie annue dei componenti: lapillo di lava 1.050 kg/mc, pietra pomice 780 kg/mc, compost 670 kg/mc

a seguito del calore prodotto. Il dataset utilizzato in Simapro, modellato per l'intero pianeta a partire dai dati relativi alla Svizzera, è il seguente:

- Compost {GLO}| market for | Cut-off, U

Il packaging del substrato è costituito da un **big bag** realizzato in Tessuto Non Tessuto di Polipropilene. Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche geometriche del packaging.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Massa di 1 big bag	1,76	kg	Datasheet
Capacità big bag	1,30	mc	Datasheet
Capacità big bag (Unità Dichiarata)	0,08	mc/mq	Calcolo
Massa big bag (Unità Dichiarata)	0,11	kg/mq	Calcolo

Tabella 26 - Caratteristiche geometriche del packaging di DAKU ROOF SOIL 2 per la realizzazione di 1 mq di SES

La capacità del big bag, riferita ad Unità Dichiarata di SES, è pari al volume di substrato utilizzato per la realizzazione di 1 mq di SES, equivalente a 0,08 mc/mq (vedasi Tabella 24).

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Massa (UD) = \frac{Massa * Capacità (UD)}{Capacità} \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

Il big bag è costituito da un tessuto organico derivante dal petrolio, le cui fasi di produzione sono:

- estrazione del petrolio;
- produzione di propilene (gas) mediante cracking;
- produzione del polipropilene isotattico (grani) mediante polimerizzazione del propilene;
- produzione della fibra sintetica mediante fusione ed estrusione dei grani di polipropilene.

Il dataset utilizzato in Simapro, relativo alla produzione europea di fibre di polipropilene, è il seguente:

- Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S

Esso è basato sui dati dell'industria chimica europea (EU-27) ed include i processi di trasporto sino allo stabilimento produttivo.

4.1.1.3. Produzione di DAKU PLUS-E

Il DAKU PLUS-E è un fertilizzante prodotto da "Starter Green A. E 2000 di Paganini Alessandro" di Castrocaro Terme (FC).

Nella seguente tabella si riportano i principali componenti del fertilizzante, in termini massivi, estrapolati dalla scheda tecnica.

Componente	Quota
Membrana polimerica MCT	59,00%
Azoto (N) totale	15,00%
Anidride Fosforica (P2O5)	14,00%
Ossido di Potassio (K2O)	12,00%
Boro (B)	0,02%
Rame (Cu)	0,04%
Ferro (Fe) totale	0,32%
Manganese (Mn) totale	0,05%
Molibdeno (Mo)	0,01%
Zinco (Zn)	0,05%

Tabella 27 - Componenti principali di DAKU PLUS-E in termini massivi

Per i SES il fertilizzante si distribuisce direttamente sul DAKU ROOF SOIL 2 prima della fresatura superficiale in ragione di 8 gr/mq, per ogni cm di spessore del substrato posato.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Densità superficiale per ogni cm di substrato	0,008	kg/(mq*cm)	Datasheet
Spessore del substrato	8,000	cm	Datasheet
Massa (Unità Dichiarata)	0,064	kg/mq	Calcolo

Tabella 28 - Caratteristiche geometriche di DAKU PLUS-E

In un'unità dichiarata di SES vengono utilizzati 0,064 kg/mq di fertilizzante PLUS-E. Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Massa (UD) = Densità\ superficiale * Spessore \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

Non è stato trovato tra i database di Simapro ed in rete un dataset che rappresenti la produzione della membrana polimerica MTC. Dato che la membrana è una sostanza biodegradabile, la cui produzione è protetta da brevetto, e la sua quantità è inferiore allo 0,03% del SES, si è esclusa dalla presente analisi.

Il fertilizzante è stato quindi modellato in Simapro come un mix costituito dai seguenti dataset, riferiti alla produzione mondiale di fertilizzanti:

- Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut-off, U
- Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Cut-off, U
- Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Cut-off, U

In Tabella 27 si riportano le rispettive quantità modellate in Simapro.

Componente	Quota	Massa [kg/mq]
Azoto (N) totale	15%	0,010
Anidride Fosforica (P2O5)	14%	0,009
Ossido di Potassio (K2O)	12%	0,008
Totale	41%	0,027

Tabella 29 - Componenti di DAKU PLUS-E in termini massivi modellati in Simapro

Vista la piccola quantità di fertilizzante utilizzato per la realizzazione di un'unità dichiarata di SES, con una quota inferiore allo 0,1% rispetto al totale, la relativa quantità di packaging è trascurabile.

4.1.1.4. Produzione di DAKU STABIFILTER SFE

Il DAKU STABIFILTER SFE è prodotto da Edilflor S.p.A. nello stabilimento di Sandrigo (VI).

I **filtri** sono costituiti da geotessili realizzati con fibre di polipropilene agugliato e termostabilizzato senza collanti o leganti chimici.

Le fasi di produzione dei filtri ed il dataset sono gli stessi del big bag utilizzato per il confezionamento del Daku Roof Soil 2 (vedasi paragrafo 4.1.1.2).

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Densità superficiale	0,22000	kg/mq	Datasheet
Spessore	0,00135	m	Datasheet
Massa (Unità Dichiarata)	0,22000	kg/mq	Calcolo

Tabella 30 - Caratteristiche geometriche di DAKU STABIFILTER SFE

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Massa (UD) = densità superficiale [kg/mq]$$

Il **packaging** è costituito da un film plastico in polietilene.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Densità film	0,0075	kg/mq	DAKU
Massa film (Unità Dichiarata)	0,0075	kg/mq	Calcolo

Tabella 31 - Caratteristiche geometriche del packaging di DAKU STABIFILTER SFE

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Massa (UD) = Densità \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

Il film plastico, similmente al materiale geotessile, è prodotto a partire dal granulato di polietilene per estrusione. Il dataset utilizzato in Simapro, relativo alla produzione mondiale di film, è il seguente:

- Packaging film, low density polyethylene {GLO} | market for | Cut-off, U

4.1.1.5. Produzione di DAKU FSD 20

Gli elementi DAKU FSD 20 sono pannelli di polistirene (detto comunemente polistirolo), realizzati da L'isolante srl di Roverbella (MN).

Le fasi di produzione dei **pannelli** sono le seguenti:

- estrazione del petrolio;
- produzione di stirene mediante cracking;
- polimerizzazione dello stirene;
- pre-espansione, maturazione e stampaggio del polistirene.

Il dataset in Simapro, basato sui dati dell'industria chimica europea, include i processi di trasporto sino allo stabilimento produttivo ed è il seguente:

- Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant RER¹⁵

Di seguito un riepilogo delle informazioni geometriche utilizzate per la modellizzazione.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Area	1,250	mq	Datasheet
Altezza	0,082	m	Datasheet
Densità	25,000	kg/mc	Datasheet
Capacità (accumulo idrico)	0,013	mc/mq	Datasheet
Battente	0,010	m	Datasheet
Volume aria libera	0,022	mc/mq	Datasheet
Volume lordo	0,103	mc	Calcolo
Volume lordo (Unità Dichiarata)	0,082	mc/mq	Calcolo
Volume netto (Unità Dichiarata)	0,047	mc/mq	Calcolo
Massa (Unità Dichiarata)	1,185	kg/mq	Calcolo

Tabella 32 - Caratteristiche geometriche di DAKU FSD 20

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti:

$$Volume\ lordo = Area * Altezza [mc]$$

$$Volume\ lordo\ (UD) = \frac{Volume\ lordo}{Area} \left[\frac{mc}{mq} \right]$$

$$Volume\ netto\ (UD) = Volume\ lordo\ (UD) - (Capacità + Volume\ aria\ libera) \left[\frac{mc}{mq} \right]$$

$$Massa\ (UD) = Volume\ netto\ (UD) * Densità \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

Il **packaging**, analogamente al DAKU STABIFILTER SFE, è costituito da film plastico.

La quantità di pellicola utilizzata per la realizzazione di 1 mq di SES è pari a **0,0375 kg/mq**, equivalente ad 1,5 kg di film ogni 40 mq di pannelli.

¹⁵ <https://data.europa.eu/euodp/data/dataset/jrc-eplca-c8da0e5d-a0b9-4868-8153-b5b1ad0c171c>

4.1.1.6. Produzione di DAKU PRO e DAKU CONTROLLER

I componenti DAKU PRO e DAKU CONTROLLER sono elementi realizzati in lega di alluminio-magnesio, prodotti da Tecnesa Italia srl a Forlì (FC).

Le fasi di produzione dei profili di alluminio sono le seguenti:

- estrazione bauxite;
- produzione di allumina;
- produzione di lingotti di alluminio mediante elettrolisi (incluse quote di alluminio riciclato);
- estrusione dei lingotti.

Il dataset in Simapro è basato sui dati dell'industria europea dell'alluminio ed include i processi di trasporto sino allo stabilimento produttivo. Il dataset è il seguente:

- Aluminium extrusion profile, primary prod., prod. mix, aluminium semi-finished extrusion product RER S

In Tabella 33 si riportano le quantità di elementi in alluminio installate nel 2019.

Elemento in alluminio	Massa Specifica [kg/udm]	Installazioni 2019	Massa totale [kg]
DAKU PRO 80 [m]	0,55	1.252	689
DAKU PRO 170 [m]	1,20	1.226	1.471
DAKU CONTROLLER [n]	1,70	503	855
Totale			3.015

Tabella 33 - Caratteristiche geometriche degli elementi in alluminio DAKU installati nel 2019

La massa di alluminio utilizzata per la realizzazione di un'unità dichiarata di tetto verde (SES o SIS), pari al rapporto tra la massa totale di alluminio installata nel 2019 ed il totale di mq di tetto verde installati, è pari a **0,092 kg/mq**. Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Massa alluminio (UD)} = \frac{\text{Totale elementi in alluminio}}{\text{Totale mq tetto verde}} \text{ [kg/mq]}$$

Entrambi gli elementi in alluminio sono forniti in scatole di cartone. Il dataset utilizzato per la modellizzazione del packaging, rappresentativo della produzione europea di scatole in cartone, è il seguente:

- Corrugated board box {RER} | production | Cut-off, U

La quantità utilizzata per la realizzazione di 1 mq di SES è pari a **0,0092 kg/mq** di scatole di cartone per il confezionamento degli elementi di alluminio, equivalente ad 1 kg di cartone ogni 10 kg di alluminio.

4.1.1.7. Produzione di GHIAIA

La ghiaia, essendo un materiale molto pesante, è acquistata da produttori locali nei pressi del cantiere, ad una distanza media di 30 km.

Nella seguente tabella si riportano le informazioni geometriche della ghiaia.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Incidenza volumetrica	0,01	mc/mq	Daku
Densità	1.500,00	kg/mc	Datasheet
Massa (Unità Dichiarata)	15,00	kg/mq	Calcolo

Tabella 34 - Caratteristiche geometriche della GHIAIA

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti:

$$\text{Massa (UD)} = \text{Incidenza volumetrica} * \text{Densità [kg/mq]}$$

Per la realizzazione di 1 mq di SES vengono utilizzati **15 kg/mq** di ghiaia.

Nei database non è stato trovato un dataset relativo all'estrazione di ghiaia da fiume, perciò è stato utilizzato quello relativo a ghiaia da cava. Questa scelta si ritiene che sia conservativa, in quanto la ghiaia da fiume subisce una frantumazione naturale (ad impatto zero), mentre quella da cava è frantumata meccanicamente.

Il dataset utilizzato in Simapro, modellato per il resto del mondo a partire dai dati della Svizzera, è il seguente:

- Gravel, round {RoW}| market for gravel, round | Cut-off, U

Esso include l'intero processo di produzione della ghiaia da cava, vale a dire:

- l'escavazione e frantumazione della roccia;
- i trasporti interni alla cava;
- la ri-coltivazione della cava.

La ghiaia viene trasportata sfusa.

4.1.1.8. Fornitura di energia elettrica

Il dataset utilizzato in Simapro per la modellizzazione dei consumi elettrici nelle sedi di Daku è rappresentativo di tutta l'energia elettrica fornita in Italia in bassa tensione, è basato sui dati IEA 2017 (International Energy Agency) ed include:

- tutti gli input di energia elettrica prodotta ed importata in Italia, e trasformata in bassa tensione;
- la rete di trasmissione con tutte le relative perdite;
- le emissioni dirette in aria di SF6 (gas ad elevato GWP, utilizzato come isolante nelle apparecchiature in media e alta tensione).

Il dataset è il seguente:

- Electricity, low voltage {IT}| market for | Cut-off, U

Il consumo di energia elettrica nelle sedi di Daku associato alla produzione di 1 mq di SES è pari a **0,182 kWh/mq** (vedasi paragrafo 3.7.1).

4.1.1.9. Fornitura di calore

Il calore per il riscaldamento degli uffici di Daku è prodotto mediante caldaie a combustibile (gas naturale e pellet). In termini energetici l'85% del calore è prodotto con gas naturale, mentre il restante 15% con pellet.

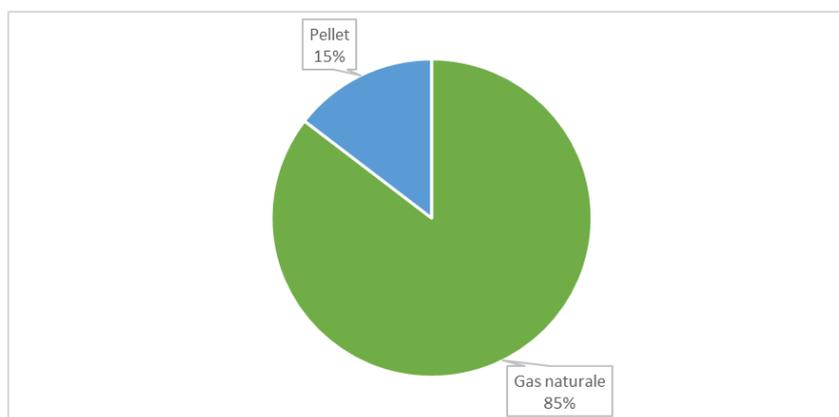


Figura 18 - Ripartizione dei consumi di combustibili [in kWh] per la produzione di calore nelle sedi di Daku

Dato che il combustibile principalmente utilizzato è gas naturale, la fornitura di calore è stata modellizzata con il dataset relativo alla produzione europea di calore con caldaia a gas naturale con potenza inferiore a 100 kW termici. Il dataset è il seguente:

- Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} | heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW | Cut-off, U

Il calore prodotto modellizzato in Simapro è pari a **0,434 kWh/mq**.

Esso è stato ricavato a partire dai consumi per unità dichiarata dei due combustibili, pari a 0,042 Smc/mq di gas naturale (vedasi paragrafo 3.7.2) e 0,021 kg/mq di pellet (vedasi paragrafo 3.7.3), considerando:

- rendimento termico = 90%
- PCI del gas naturale = 9,7 kWh/Smc
- PCI del pellet = 3,4 kWh/kg

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Calore gas (UD)} = \text{rendimento termico} * \text{Consumi gas (UD)} * \text{PCI gas} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mq}} \right]$$

$$\text{Calore pellet (UD)} = \text{rendimento termico} * \text{Consumi pellet (UD)} * \text{PCI pellet} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mq}} \right]$$

$$\text{Calore (UD)} = \text{Calore gas (UD)} + \text{Calore pellet (UD)} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mq}} \right]$$

4.1.1.10. Flotta automobilistica aziendale

In Simapro i dataset relativi ai mezzi di trasporto hanno come unità di misura la distanza percorsa. Essendo la flotta aziendale costituita da automezzi di taglia media, di classe ambientale Euro 5 e 6, il dataset rappresentativo scelto è il seguente:

- Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 {RER} | transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 | Cut-off, U

Il dataset include:

- i consumi del carburante con le relative emissioni in aria;
- la manutenzione del mezzo e delle strade.

Non è disponibile il dataset relativo ad i mezzi con classe ambientale Euro 6, perciò in modo cautelativo si procede con la modellizzazione con un unico mezzo con classe ambientale Euro 5.

Il suddetto dataset ha un consumo specifico massivo di gasolio pari a 0,0557 kg/km. Considerando che la densità del gasolio è pari a 0,835 kg/l, l'autonomia del mezzo di trasporto modellato in Simapro risulta pari a 15 km/l. Questo dato è in linea coi consumi riportati nelle schede tecniche dei mezzi aziendali.

La distanza percorsa dal mezzo di trasporto modellato in Simapro risulta pari a **5,91 km/mq** (vedasi paragrafo 3.7.4).

4.1.2. Transport to the building site (A4)

Per tutti i processi di trasporto al cantiere (A4), l'unità di misura utilizzata è il tkm (tonnellate per chilometro) che tiene in considerazione la massa trasportata moltiplicata per la distanza.

L'Organizzazione non ha un magazzino dei materiali, i quali vengono consegnati dai vari fornitori direttamente in cantiere. Le sedi dei fornitori sono localizzate tutte nel Centro-Nord-Est Italia (Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna, Toscana e Marche), mentre i cantieri sono realizzati in tutta Italia (da Nord a Sud). La distanza percorsa dai mezzi di trasporto dal sito produttivo del fornitore al cantiere risulta essere molto variabile.

In un'ottica di sostenibilità ambientale ed economica della logistica, i seguenti elementi accessori vengono trasportati con un'unica spedizione in cantiere (tratta #7 in Tabella 35) a partire dal sito produttivo del pannello DAKU FSD 20:

- DAKU STABIFILTER SFE
- DAKU PLUS-E
- DAKU PRO e DAKU CONTROLLER

Il cantiere rappresentativo della produzione di tetti verdi 2019, calcolato nel paragrafo 3.6, è geolocalizzato nel comune di Soliera (MO) in Emilia-Romagna.

In Tabella 35 e Figura 19 sono riportate le informazioni relative alle n. 8 spedizioni effettuate per la consegna dei materiali (packaging incluso) dai siti produttivi al cantiere di Soliera. Le distanze sono state ricavate da Google Maps.

#	Componenti trasportati	Partenza	Arrivo	Distanza [km]	Massa [kg/mq]	Di-stanza*Massa [km*kg/mq]
1	SEDUM IN TALEE	San Donà di Piave (VE)	Cantiere	237	0,10	24
2	DAKU COMPOST	Tolentino (MC)	Pitigliano (GR)	207	5,74	1.189
3	DAKU ROOF SOIL_2	Pitigliano (GR)	Cantiere	335	73,14	24.501
4	DAKU PLUS-E	Castrocaro Terme (FC)	Roverbella (MN)	202	0,06	13
5	DAKU STABILFILT-TER SFE	Sandrigo (VI)	Roverbella (MN)	106	0,23	24
6	DAKU PRO + CONTROLLER	Forlì (FC)	Roverbella (MN)	200	0,10	20
7	DAKU FSD-20 + PLUS-E + STABILFILT-TER SFE + PRO + CONTROLLER	Roverbella (MN)	Cantiere	75	1,62	121
8	Ghiaia	Cava a 30 km dal cantiere	Cantiere	30	15,00	450
TOTALE						26.342

Tabella 35 - Tratte effettuate per la spedizione dei componenti di 1 mq di SES in cantiere

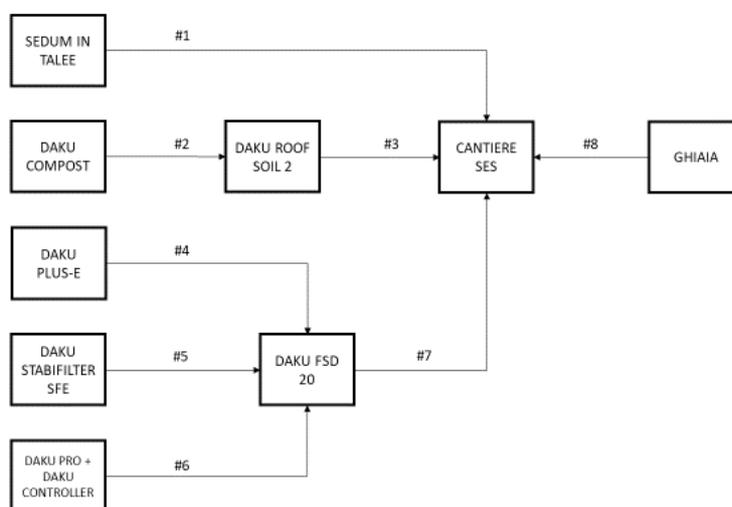


Figura 19 - Rappresentazione grafica delle tratte effettuate per la spedizione dei componenti del SES in cantiere

Per tutti i trasporti è stato utilizzato il seguente processo, estrapolato dal database Ecoinvent, relativo ad un autotreno Euro 6 con massa superiore a 32 tonnellate:

- Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

In totale la massa trasportata è pari a **26,342 t*km/mq** per la realizzazione di 1 mq di SES.

Il trasporto del substrato ROOF SOIL 2 dal sito produttivo al cantiere (tratta #3 in Tabella 35) risulta essere il più incisivo in termini assoluti, con una quota superiore al 93% del totale del prodotto distanza percorsa per massa trasportata. Nel bilancio di massa dei componenti del SES il substrato ha una quota del 81% (vedasi Tabella 4).

4.1.3. Installation into the building (A5)

Tutti i materiali vengono movimentati e sollevati fino in copertura con gru elettrica di cantiere o auto-gru a noleggio. Per la presente analisi si considera l'uso di una **gru elettrica di cantiere**, in quanto è la soluzione utilizzata nella maggior parte dei casi.



Figura 20 - Movimentazione di un big bag DAKU con auto-gru

Il resto delle attività di posa in opera viene svolta manualmente.

I consumi di energia elettrica di una gru variano in ogni cantiere in funzione dei seguenti fattori:

- dimensioni e potenza elettrica del mezzo;
- movimenti necessari (sollevamento, traslazione e rotazione).

I consumi sono stati stimati a partire dai dati di targa di n. 5 gru elettriche a torre prodotte da FM Gru¹⁶, con i valori minimo (modello 1760) e massimo (modello 2560) di portata massima, riportati in Tabella 36.

Nella presente analisi non sono stati considerati i consumi elettrici relativi alle fasi di rotazione e traslazione della gru, poiché le potenze elettriche necessarie sono inferiori di un ordine di grandezza rispetto a quella di sollevamento.

In ogni sollevamento viene movimentato un big bag, che pesa circa una tonnellata. Per questo motivo sono stati presi dalle schede tecniche i dati relativi al sollevamento della massa standard più piccola.

A partire dai dati di targa sono stati ricavati i valori medi (ultima riga in Tabella 36).

¹⁶ <http://www.fmgru.it/>

Modello di gru elettrica	Velocità di sollevamento standard [m/min]	Massa Sollevamento Standard [kg]	Potenza elettrica [kW]	Energia di Sollevamento Standard [kWh/min]
1760 TCK P6 - V25.60	33	1.800	18,40	0,31
1760 TCK P6 - V33.90	45	1.000	22,00	0,37
1760 TCK P6 - V45.60	72	1.400	33,00	0,55
2560 TCK P12 - V45.60	36	2.800	33,00	0,55
2560 TCK P12 - V100.130	65	2.800	75,00	1,25
Valor medio	50	1.960	36,28	0,60

Tabella 36 – Consumi di energia elettrica di una gru di cantiere per il sollevamento

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Energia\ di\ Sollevamento\ Standard = \frac{Potenza\ elettrica}{60} \left[\frac{kWh}{min} \right]$$

Dall'analisi risulta che mediamente per sollevare 2 tonnellate circa di materiale di 50 metri vengono consumati 0,6 kWh di energia elettrica, ed il sollevamento dura 1 minuto.

Il tetto verde trova la sua applicazione sulle coperture di centri commerciali, capannoni industriali e piccole coperture del residenziale. Tutti questi edifici hanno altezze molto inferiori rispetto ai 50 metri di sollevamento effettuati in 1 minuto.

Per la presente analisi si ipotizza in via cautelativa un'altezza di sollevamento in un cantiere Daku pari a 25 metri, equivalente ad un edificio di circa 6 piani. In realtà molto spesso i tetti verdi vengono installati su edifici con altezza pari a 10-15 metri.

L'energia di sollevamento standard (misurata in kWh/min) è stata quindi riparametrata in funzione delle seguenti grandezze:

- massa di un'unità dichiarata di SES (coefficiente M);
- altezza media di un cantiere Daku (coefficiente T).

L'energia elettrica consumata da una gru di cantiere per il sollevamento di un'unità dichiarata di SES è pari a **0,014 kWh/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$M = \frac{Massa\ Unit\ Dichiarata}{Massa\ Sollevamento\ Standard\ media} \left[\frac{1}{mq} \right]$$

$$T = \frac{Altezza\ media\ di\ un\ cantiere\ Daku}{Velocità\ di\ Sollevamento\ Standard\ media} [min]$$

$$Energia\ sollevamento\ (UD) = Energia\ di\ Sollevamento\ Standard\ media * M * T \left[\frac{kWh}{mq} \right]$$

Per la modellizzazione in Simapro è stato utilizzato lo stesso dataset utilizzato per la fornitura di energia elettrica (vedasi paragrafo 4.1.1.8).

Durante la fase di installazione il **packaging dei componenti** del SES viene inviato al centro di trattamento rifiuti municipale per il **riciclo**, in quanto composto da cartone, pellicola film in polietilene e big bag in fibra di polipropilene. Il packaging è un output del processo di installazione.

In totale durante l'installazione di 1 mq di SES vengono prodotti **0,163 kg/mq** di rifiuti riciclabili. In Tabella 37 si riporta il dettaglio dei rifiuti prodotti.

Elemento	Packaging	Quantità [kg/mq]
VEGETAZIONE	Sfuso	0,000
SUBSTRATO	PP	0,108
FILTRO	PET	0,008
ELEMENTO DI ACCUMULO	PET	0,038
DAKU PRO + CONTROLLER	Cartone	0,009
GHIAIA	Sfuso	0,000
TOTALE		0,163

Tabella 37 – Quantità di packaging per la realizzazione di 1 mq di SES

4.1.4.Use (B1)

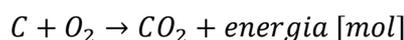
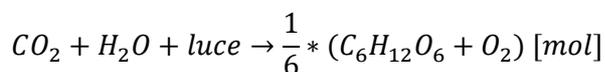
Si ipotizza che la vita utile di un tetto verde sia:

- analoga a quella dell'edificio su cui è installato;
- pari a 50 anni.

L'unica attività rilevante durante la vita del tetto verde è la **cattura di anidride carbonica** (CO₂) da parte della vegetazione mediante il processo di fotosintesi clorofilliana.

La suddetta reazione chimica permette alle piante di trasformare anidride carbonica (CO₂) combinata ad acqua (H₂O) in glucosio (C₆H₁₂O₆) per il proprio nutrimento e ossigeno (O₂) da rilasciare nell'ambiente. Questo processo avviene nell'arco della giornata, poiché catalizzatore della reazione descritta è la luce. Il glucosio a sua volta verrà scomposto a fine vita in carbonio (C) e acqua (H₂O).

Di seguito le formule stechiometriche del processo di fotosintesi clorofilliana e di combustione del carbonio.



Considerando i pesi atomici di carbonio (12 g/mol) e ossigeno (16 g/mol) ogni chilogrammo di anidride carbonica contiene:

- 0,27 kg di carbonio
- 0,73 kg di ossigeno

Il processo di cattura della CO₂, non disponibile nei database di Simapro, è stato modellato creando un dataset denominato "CO₂ sequestrata", con le seguenti caratteristiche:

- input:
 - 1,00 kg di CO₂
 - 0,41 kg di H₂O
- output:
 - 0,73 kg di O₂
 - 0,41 kg di H₂O
 - 0,27 kg di C

La quantità di CO₂ catturata è stata calcolata a partire dal totale annuo di carbonio sequestrato da 1 mq di tetto verde, riportato nella seguente tabella estrapolata da uno studio del 2018 pubblicato nella rivista scientifica “Sustainability”.

Species and Treatments			Dry Weight (g-pot ⁻¹)		Carbon Concentration (%)		Carbon Content (g-C-pot ⁻¹)		Total Annual Carbon Sequestration (g-C-m ⁻² .yr ⁻¹)
			Oct-14	Oct-15	Oct-14	Oct-15	Oct-14	Oct-15	
<i>C. dactylon</i>	irrigation	plant	0.4 ± 0.0 ^z	7.0 ± 0.4*	39.2 ± 0.3	40.7 ± 0.4	0.1 ± 0.0	2.9 ± 0.2*	690
		substrate	30.7 ± 0.7	32.4 ± 0.7	5.1 ± 0.3	5.9 ± 0.2	1.6 ± 0.1	1.9 ± 0.1*	
<i>F. arundinacea</i>	irrigation	plant	0.4 ± 0.0	7.2 ± 0.3*	38.5 ± 0.2	36.3 ± 0.5	0.1 ± 0.0	2.6 ± 0.1*	751
		substrate	30.0 ± 0.3	33.6 ± 0.6*	5.7 ± 0.1	7.6 ± 0.3*	1.7 ± 0.0	2.5 ± 0.1*	
<i>Z. matrella</i>	irrigation	plant	0.6 ± 0.0	6.6 ± 0.4*	42.7 ± 0.2	43.2 ± 0.5	0.2 ± 0.0	2.9 ± 0.2*	671
		substrate	30.8 ± 1.3	31.8 ± 2.5	6.2 ± 0.2	7.0 ± 0.2*	1.9 ± 0.1	2.2 ± 0.1*	
<i>S. aizoon</i>	irrigation	plant	0.6 ± 0.0	3.9 ± 0.2*	38.9 ± 0.5	41.5 ± 0.3*	0.2 ± 0.0	1.6 ± 0.1*	459
		substrate	30.7 ± 0.4	30.9 ± 0.5	5.5 ± 0.2	7.6 ± 0.2*	1.7 ± 0.0	2.3 ± 0.0*	
	non	plant	0.6 ± 0.0	3.1 ± 0.1*	38.9 ± 0.5	38.5 ± 0.2	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0*	
		substrate	30.7 ± 0.4	30.5 ± 0.3	5.5 ± 0.2	6.9 ± 0.3*	1.7 ± 0.0	2.1 ± 0.0*	

^z Represent means ± SE. * represent significant differences between the results of October 2014 and October 2015 (Student's *t*-test, *P* < 0.05).

Tabella 38 - CO₂ sequestrata da varie specie vegetali¹⁷

I primi tre casi (*C. dactylon*, *F. arundinacea* e *Z. matrella*) sono tipologie di erbe graminacee utilizzate nei sistemi intensivi, mentre l'ultimo caso (*S. aizoon*) è riferito ad un sistema estensivo (irrigato e non). Il SES non è dotato di sistema di irrigazione, perciò per la presente analisi si considera il caso di sistema estensivo non irrigato.

Per ogni chilogrammo di carbonio prodotto sono stati sequestrati dal Sedum 1,232 kg di anidride carbonica.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
C annuo sequestrato	0,336	kg/(anno*mq)	Tabella 38
Peso molecolare C	12,000	g/mol	Tavola periodica
Peso molecolare CO ₂	44,000	g/mol	Calcolo
CO ₂ annua sequestrata	1,232	kg/(anno*mq)	Calcolo
Vita utile (Unità Dichiarata)	50,000	anni	DAKU
CO₂ vita utile sequestrata (Unità Dichiarata)	61,600	kg/mq	Calcolo

Tabella 39 - Calcolo della CO₂ catturata dal SES

¹⁷ (Takanori Kuronuma 1, 2018)

La quantità di CO2 sequestrata da 1 mq di SES in 50 anni è pari a **61,6 kg/mq**.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$\text{Peso molecolare CO2} = 1 * \text{Peso atomico C} + 2 * \text{Peso atomico O} \text{ [g/mol]}$$

$$\text{CO2 annua sequestrata} = \frac{\text{Peso molecolare CO2} * \text{C annuo sequestrato}}{\text{Peso atomico C}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{anno} * \text{mq}} \right]$$

$$\text{CO2 sequestrata (UD)} = \text{CO2 annua sequestrata} * \text{Vita utile} \text{ [kg/mq]}$$

4.1.5. Deconstruction, demolition (C1)

Per lo smontaggio di un tetto verde è necessaria la stessa **gru elettrica** utilizzata in fase di installazione, di conseguenza si ipotizza un consumo energetico analogo a quello ricavato per la fase di montaggio del tetto verde e si è utilizzato lo stesso dataset (vedasi paragrafo 4.1.3), con lo stesso consumo di energia elettrica pari a **0,014 kWh/mq**.

4.1.6. Trasport (C2)

Per la fase di trasporto dal sito di costruzione al centro di smaltimento si sono fatte le seguenti ipotesi:

- il centro di smaltimento si trova ad una distanza di **30 km** dal sito di costruzione;
- la massa totale trasportata al centro di smaltimento è pari a **89,7 kg**, equivalente al peso totale del SES;
- il trasporto è effettuato con un mezzo pesante EURO6 con massa superiore alle 32 ton.

Il dataset utilizzato, analogamente alla fase di trasporto A4, è il seguente:

- Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER} | transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

La quantità di massa trasportata per la distanza percorsa è pari a **2,691 tkm/mq**.

4.1.7. Waste processing (C3)

In Tabella 40 è riportata la caratterizzazione di fine vita per ogni componente del SES, mentre in Tabella 41 i relativi dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione del trattamento rifiuti.

Componente	Tipo di rifiuto	Trattamento rifiuto
DAKU SEDUM	Rifiuti biodegradabili (CER 20.02.01)	Compostaggio
DAKU ROOF SOIL_2	Terra e rocce (CER 17.05.04)	Riciclaggio/recupero
DAKU STABIFILTER SFE	Plastica esclusi imballaggi (CER 02.01.04)	Riciclaggio/recupero
DAKU FSD 20	Imballaggi di plastica (CER 15.01.02)	Riciclaggio/recupero
DAKU PRO + CONTROLLER	Alluminio (CER 17.04.02)	Riciclaggio/recupero
GHIAIA	Scarti di ghiaia e pietrisco (CER 01.04.07)	Riciclaggio/recupero

Tabella 40 - Caratterizzazione di fine vita dei componenti del SES

Dal 1991 ad oggi nessun tetto verde realizzato da Daku Italia è stato ancora smontato/smantellato. Si ipotizza che tutti i componenti vengono trattati per il compostaggio e riciclaggio.

Componente	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità [kg]
DAKU SEDUM	Compost {RoW} treatment of biowaste, industrial composting APOS, U	Ecoinvent	1,500
DAKU STABIFILTER SFE + DAKU FSD-20	Waste polyethylene, for recycling, sorted {Europe without Switzerland} treatment of waste polyethylene, for recycling, unsorted, sorting Cut-off, U	Ecoinvent	1,405
DAKU PRO + CONTROLLER	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting {RER} treatment of aluminium scrap, post-consumer, by collecting, sorting, cleaning, pressing Cut-off, U	Ecoinvent	0,092

Tabella 41 – Dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione del trattamento fine vita dei componenti di 1 mq di SES

La **vegetazione del SES** è un rifiuto 100% biodegradabile, perciò viene inviato ad un centro di compostaggio. Si ipotizza che la quantità di vegetazione inviata sia pari a **1,5 kg/mq**.

Il trattamento di compostaggio è un processo di decomposizione ed umificazione dei materiali biodegradabili in condizioni controllate, in un ambiente aerobico e che consente lo sviluppo di temperature adatte allo sviluppo dei batteri mesofili e termofili a seguito del calore prodotto biologicamente.

Il dataset utilizzato in Simapro:

- include l'energia utilizzata da un impianto di compostaggio, nonché le emissioni di processo, le infrastrutture dell'impianto e i trasporti relativi alla raccolta dei rifiuti biogenici. I valori si riferiscono a compost con un contenuto di acqua del 50% in peso;
- è basato su dati relativi alla Svizzera e modellato per il resto del mondo.

Gli elementi **DAKU STABIFILTER SFE** e **DAKU FSD 20** sono entrambi costituiti da materiali plastici riciclabili di diverso tipo. In Simapro non è disponibile il dataset relativo al riciclo di ogni tipologia di plastica, perciò è stato scelto quello relativo al riciclo del PET. Il dataset è modellizzato per l'Europa a partire dal dataset della Svizzera.

Gli elementi **DAKU PRO** e **DAKU CONTROLLER** sono entrambi costituiti da alluminio riciclabile.

Il dataset utilizzato in Simapro:

- include le fasi di preparazione di lingotti di alluminio riciclato, pronto per la fusione (cernita, lavaggio e pressatura);
- è basato sui dati 2005 dell'Associazione Europea dell'Alluminio EAA (European Aluminium Association) modellati per il 2017.

La **ghiaia** ed il **substrato** sono materiali inerti non pericolosi, perciò sono riutilizzabili tal quali in un altro cantiere. La ghiaia può essere ri-usata per la realizzazione di un altro tetto verde, mentre il substrato solo per altri usi (esempio: ammendante per terreni vegetali con poca permeabilità).

4.1.8. Disposal (C4)

Tutti i materiali risultano riciclabili e/o riutilizzabili, perciò nessun processo è stato considerato nel presente modulo.

4.1.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D)

In base a quanto descritto nel paragrafo 4.1.7 si sono considerati i seguenti potenziali impatti ambientali evitati grazie al riciclo/riuso dei componenti del SES:

- compost;
- minerali di origine vulcanica;
- lingotti di alluminio;
- granuli di plastica (PP e PS);
- ghiaia.

Il fertilizzante ottenuto dal compostaggio della vegetazione è un prodotto finito utilizzabile in agricoltura. Gli altri benefici sono legati alla mancata estrazione delle materie prime dal sottosuolo (bauxite, petrolio, ghiaia e minerale vulcanico) e la produzione dei relativi semi-lavorati da cui deriva la produzione dei componenti del sistema.

I benefici sono stati modellizzati utilizzando i dataset relativi alla produzione dei suddetti materiali, considerando una quantità negativa.

Beneficio	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità [kg]
Produzione evitata di compost	Compost {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-1,50
Produzione evitata di substrato	Pumice {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-67,29
Produzione evitata di lingotti in alluminio	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-0,092
Produzione evitata di PP in granuli	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-0,220
Produzione evitata di PS in granuli	Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant RER	ELCD	-1,185
Produzione evitata di ghiaia	Gravel, round {RoW} market for gravel, round Cut-off, U	Ecoinvent	-15,000

Tabella 42 – Dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione del potenziale beneficio associato al riuso e riciclo di 1 mq di SES (modulo D)

4.2. Sistema Intensivo Standard

Di seguito si descrivono i processi utilizzati per la modellizzazione di 1 mq di SIS.

In molti casi i componenti ed i processi sono simili a quelli utilizzati per SES, perciò i dataset sono gli stessi.

4.2.1. Product stage (A1+A2+A3)

Tutti i componenti di DAKU sono prodotti da terzi e consegnati direttamente presso il cantiere di installazione, perciò i 3 moduli upstream della fase del prodotto, dalla culla fino al cancello delle aziende fornitrici, sono aggregati.

Tutti i processi sono basati su dati generici disponibili nei database di Simapro, riepilogati nella Tabella 22 e descritti nei seguenti sotto-paragrafi. I database utilizzati, aggiornati tutti ad aprile 2018, sono:

- Ecoinvent 3.4;
- ELCD 3.2;
- Industry Data 2.0.

I processi presi dal database Ecoinvent sono tutti di tipo:

- cut-off, non tiene conto di alcun beneficio relativo al riciclaggio di un materiale;
- unit, per poter aver uno zoom dei sotto-processi inclusi;
- market, contengono tutti gli input per realizzare un prodotto o servizio, incluso il trasporto sino allo stabilimento produttivo.

Nome processo	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità	Unità di misura
Produzione della vegetazione SIS	Grass seed, organic, for sowing {RoW} production Cut-off, U	Ecoinvent	0,050	kg
	Corrugated board box {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent	0,005	kg
	Tree seedling, for planting {RER} tree seedling production, in heated greenhouse Cut-off, U	Ecoinvent	0,0002	p
Produzione di DAKU ROOF SOIL 1	Compost {RoW} treatment of bio-waste, industrial composting Cut-off, U	Ecoinvent	5,689	kg
	Pumice {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	127,571	kg
	Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S	ELCD	0,203	kg
Produzione di DAKU PLUS-I	Nitrogen fertiliser, as N {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,012	kg
	Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,017	kg
	Potassium fertiliser, as K2O {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,007	kg
Produzione di DAKU STABIFILTER SFI	Polypropylene fibres (PP), crude oil based, production mix, at plant, PP granulate without additives EU-27 S	ELCD	0,260	kg
	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,008	kg
Produzione di DAKU FSD 20	Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant RER	ELCD	1,185	kg
	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,038	kg

Nome processo	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità	Unità di misura
Produzione di DAKU PRO e DAKU CONTROLLER	Aluminium extrusion profile, primary prod., prod. mix, aluminium semi-finished extrusion product RER S	ELCD	0,092	kg
	Corrugated board box {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent	0,009	kg
Produzione dell'impianto di irrigazione	HDPE pipes E	Industry Data 2.0	0,101	kg
Fornitura di energia elettrica	Electricity, low voltage {IT} market for Cut-off, U	Ecoinvent	0,182	kWh
Fornitura di calore	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW Cut-off, U	Ecoinvent	0,434	kWh
Fornitura di gasolio	Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 {RER} transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 Cut-off, U	Ecoinvent	5,910	km

Tabella 43 - Unità di processo upstream relative alla fase di produzione di 1 mq di SIS

4.2.1.1. Produzione della vegetazione SIS

La vegetazione del SIS è costituita da arbusti (tipicamente 1 ogni 5 mq) e prato verde.

La produzione di **arbusti** è stata modellizzata con il dataset relativo alla produzione di alberi in vaso prodotti in una serra riscaldata. Il dataset, basato su dati europei, è il seguente:

- tree seedling production, in heated greenhouse RER

ed include:

- la fornitura ed il trasporto delle materie prime in vivaio;
- la produzione e lo smaltimento dei vasetti in plastica (il packaging ritorna al vivaio).

Il dataset è riferito alla produzione di 1.000 piantine (1 p = 1.000 piantine) e non contiene informazioni relative all'uso di acqua e di fertilizzanti.

Dato che viene piantumato un arbusto ogni 5 mq, la quantità modellata per la realizzazione di 1 mq di SIS è pari a **0,0002 p/mq**. Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Arbusti (UD) = \frac{1}{1.000} * \frac{1}{5} [p/mq]$$

Il **prato**, a seconda del tipo di contesto, dei tempi di copertura vegetale attesi e dalla finitura vegetale prevista, può essere piantato in semi o rotoli.

Per la presente analisi si è scelta la soluzione **in semi**, in quanto è la soluzione usata nel 90% dei casi.

La quantità di semi utilizzata per la piantumazione di 1 mq di SIS è pari a **50 g/mq**.

Nei database di Simapro sono disponibili dataset relativi alla produzione di semi per la produzione di frutta, ortaggi ed arbusti, ma non relativi alla produzione di semi per prato. La produzione di semi di graminacee (erba di segale) è l'unico dataset che ha come prodotto il seme di un 'erba'.

La produzione di semi per il prato è stata modellizzata con il dataset relativo alla produzione di semi di graminacee. Il dataset, basato sui dati della Svizzera e modellizzato per il resto del mondo, è il seguente:

- Grass seed, organic, for sowing {RoW}| production | Cut-off, U

ed include:

- la coltivazione e fertilizzazione del suolo;
- la raccolta, il trasporto, la lavorazione, l'essiccazione e lo stoccaggio dei semi.

I semi sono forniti in **scatole di cartone**. Il dataset utilizzato è il seguente:

- Corrugated board box {RER}| production | Cut-off, U

Esso è rappresentativo della produzione europea di scatole in cartone.

La quantità di scatole di cartone utilizzata per il confezionamento dei semi per prato è pari a **0,005 kg**, equivalente ad 1 kg di cartone ogni 10 kg di semi.

4.2.1.2. Produzione di DAKU ROOF SOIL 1

Il substrato utilizzato per la realizzazione del SIS è costituito dagli stessi componenti di quello utilizzato per la realizzazione del SES, in diverse proporzioni e quantità.

Nella seguente tabella si riporta la "ricetta volumetrica" utilizzata per la produzione del substrato del SIS.

Componente	Quota volumetrica
Lapillo di lava	42,5%
Pietra Pomice	51,9%
Compost organico	5,7%

Tabella 44 - Composizione volumetrica di DAKU ROOF SOIL 1

Lo spessore del substrato è pari a 15 cm (+88% rispetto al SES) ed il peso medio annuo¹⁸ è pari a 888 kg/mc (-3% rispetto al SES).

¹⁸ Il peso del substrato è variabile durante l'anno in base all'umidità di cava. Il **peso medio annuo** e la **ripartizione massiva** sono stati ricavati a partire dalla composizione volumetrica (Tabella 44), considerando le seguenti densità medie annue dei componenti: lapillo di lava 1.050 kg/mc, pietra pomice 780 kg/mc, compost 670 kg/mc

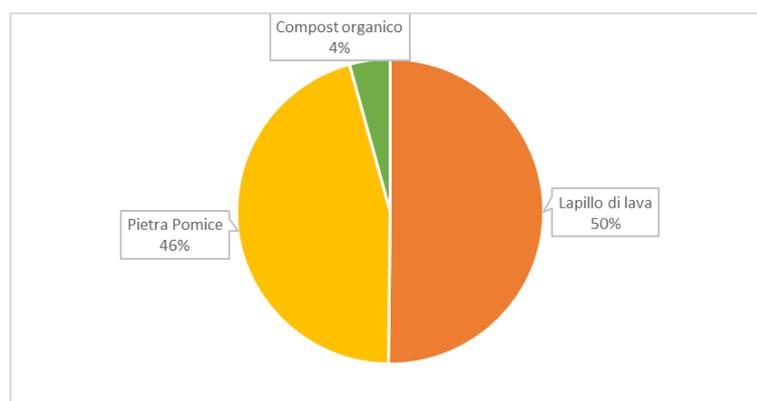


Figura 21 - Ripartizione massiva dei componenti di DAKU ROOF SOIL 1

Componente	Quantità [kg/mq]	Differenza con SES
Lapillo di lava	66,86	+49%
Pietra Pomice	60,71	+172%
Compost organico	5,69	-1%
Totale	133,26	+82%

Tabella 45 - Composizione di DAKU ROOF SOIL 1 per la realizzazione di 1 mq di SIS

Confrontando i componenti del substrato di un'unità dichiarata dei due sistemi standard, in termini massivi, si denota che nel SIS viene utilizzata:

- una maggiore quantità di minerali (lapillo +49%, pomice +172%);
- una minore quantità di compost (-1%);
- una maggior quantità di substrato (+82%).

Inoltre, anche la quantità di packaging è maggiore (+88%) rispetto a quella usata per il SES, poiché è associata al volume di substrato confezionato.

I dataset, utilizzati per la modellizzazione in Simapro del substrato e del relativo packaging, ed i calcoli eseguiti sono gli stessi del processo di produzione di DAKU ROOF SOIL 2 (vedasi paragrafo 4.1.1.2).

Di seguito un riepilogo delle quantità modellizzate:

- pietra pomice = **127,57 kg/mq**
- compost organico = **5,69 kg/mq**
- big bag in fibre di polipropilene = **0,203 kg/mq**

4.2.1.3. Produzione di DAKU PLUS-I

Il fertilizzante utilizzato per la realizzazione del SIS è costituito dagli stessi componenti di quello utilizzato per la realizzazione del SES, in diverse proporzioni e quantità.

Dataset e calcoli sono identici a quelli utilizzati nel paragrafo 4.1.1.3.

Nella seguente tabella si riportano i principali componenti del fertilizzante, in termini massivi, estrapolati dalla scheda tecnica.

Componente	Quota
Membrana polimerica MCT	53,00%
Azoto (N) totale	16,00%
Anidride Fosforica (P2O5)	22,00%
Ossido di Potassio (K2O)	9,00%
Boro (B)	0,02%
Rame (Cu)	0,03%
Ferro (Fe) totale	0,24%
Manganese (Mn) totale	0,04%
Molibdeno (Mo)	0,01%
Zinco (Zn)	0,04%

Tabella 46 - Componenti di DAKU PLUS-i in termini massivi

Nella seguente tabella si riportano le informazioni geometriche del fertilizzante.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Densità superficiale per ogni cm di substrato	0,005	kg/(mq*cm)	Datasheet
Spessore del substrato	15,000	cm	Datasheet
Massa (Unità Dichiarata)	0,075	kg/mq	Calcolo

Tabella 47 - Caratteristiche geometriche di DAKU PLUS-I

In un'unità dichiarata di SIS vengono utilizzati **0,075 kg/mq** di fertilizzante (+17% rispetto al SES).

Di seguito si riportano le rispettive quantità modellate in Simapro, escludendo la membrana MCT.

Componente	Quota	Massa [kg/mq]
Azoto (N) totale	16%	0,012
Anidride Fosforica (P2O5)	22%	0,017
Ossido di Potassio (K2O)	9%	0,007
Totale	47%	0,035

Tabella 48 - Componenti di DAKU PLUS-I in termini massivi modellati in Simapro

Analogamente al fertilizzante del SES la membrana MCT è stata esclusa e la quantità di packaging è trascurabile.

4.2.1.4. Produzione di DAKU STABIFILTER SFI

I filtri DAKU STABIFILTER SFI sono analoghi a quelli utilizzati per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.4).

Di seguito un riepilogo delle caratteristiche geometriche dei filtri.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Densità superficiale	0,26000	kg/mq	Datasheet
Spessore	0,00150	m	Datasheet

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Massa (Unità Dichiarata)	0,26000	kg/mq	Calcolo

Tabella 49 - Caratteristiche geometriche di DAKU STABIFILTER SFI

I filtri di separazione in TNT usati nel SIS hanno uno spessore maggiore (+18%) ed una densità superficiale (+11%) rispetto a quelli usati nel SES.

La produzione di filtri SFI è stata modellata in Simapro con gli stessi dataset usati per i filtri SFE, con le seguenti quantità:

- filtri SFI = **0,26 kg/mq**
- packaging = **0,0075 kg/mq**

4.2.1.5. Produzione di DAKU FSD 20

I pannelli DAKU FSD 20 sono gli stessi utilizzati per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.5), ed anche le relative quantità di seguito riportate:

- pannelli in polistirolo = **1,185 kg/mq**
- packaging = **0,0375 kg/mq**

4.2.1.6. Produzione di DAKU PRO e DAKU CONTROLLER

I componenti DAKU PRO e DAKU CONTROLLER sono gli stessi utilizzati per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.6), ed anche le relative quantità di seguito riportate:

- profili in alluminio = **0,092 kg/mq**
- scatole in cartone = **0,0092 kg/mq**

4.2.1.7. Produzione dell'impianto di irrigazione

L'impianto a goccia è analogo ad un impianto a pioggia in termini di materiale plastico utilizzato. In un impianto a goccia vengono installati n. 2 gocciolatoi in 1 mq, mentre in un impianto a pioggia viene installato un irrigatore ogni 20 mq.

Per la presente analisi si considera un impianto a goccia.

I componenti dell'impianto di irrigazione a goccia considerati nella presente analisi per la realizzazione di 1 mq di SIS sono i seguenti:

- n.1 tubo da 16 mm
- n.1 tubo da 32 mm
- n.2 gocciolatoi

Tutti i componenti sono in Poli-Etilene (PE). Nella seguente tabella sono riportate le informazioni geometriche utilizzate per il calcolo della quantità totale modellizzata in Simapro.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
Lunghezza tubo 16 mm	0,800	m/mq	DAKU
Lunghezza tubo 32 mm	0,050	m/mq	DAKU
Massa specifico tubo 16 mm	0,100	kg/m	DAKU
Massa specifico tubo 32 mm	0,300	kg/m	DAKU
Massa totale tubi	0,095	kg/mq	Calcolo
Numero gocciolatoi	2,000	n/mq	DAKU
Massa specifica gocciolatoio	0,003	kg/n	DAKU
Massa totale gocciolatoi	0,005	kg/mq	Calcolo
Massa impianto irrigazione (Unità Dichiarata)	0,101	kg/mq	Calcolo

Tabella 50 - Caratteristiche geometriche dei componenti in PE dell'IMPIANTO DI IRRIGAZIONE

In totale in 1 mq di SIS viene installata una quantità pari a **0,101 kg/mq** di PE.

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$Massa\ totale\ tubi = \sum_{n=1}^2 (Lunghezza_n * Massa\ specifica_n) \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

$$Massa\ totale\ gocciolatoi = Numero\ gocciolatoi * Massa\ specifica\ gocciolatoio \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

$$Massa\ impianto\ irrigazione\ (UD) = Massa\ totale\ tubi + Massa\ totale\ gocciolatoi \left[\frac{kg}{mq} \right]$$

I componenti dell'impianto di irrigazione sono forniti dall'installatore locale.

Le fasi di produzione dei **tubi in PE** sono le seguenti:

- estrazione del petrolio;
- produzione di etilene mediante cracking;
- polimerizzazione dell'etilene;
- estrusione del polietilene.

Il dataset usato in Simapro, basato sui dati dell'industria chimica europea, include i processi di trasporto sino allo stabilimento produttivo ed è il seguente:

- HDPE pipes E

4.2.1.8. Fornitura di energia elettrica

Il consumo di energia elettrica nelle sedi di Daku associato alla produzione di 1 mq di SIS è:

- analogo a quello calcolato per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.8);
- pari a **0,182 kWh/mq**.

4.2.1.9. Fornitura di calore

Il consumo di calore nelle sedi dell'Organizzazione, prodotto mediante la combustione di gas naturale, associato alla produzione di 1 mq di SIS è:

- analogo a quello calcolato per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.9);
- pari a **0,434 kWh/mq.**

4.2.1.10. Fornitura di gasolio

La distanza percorsa dal mezzo di trasporto modellizzato in Simapro per la produzione di 1 mq di SIS è:

- analoga a quella calcolata per il SES (vedasi paragrafo 4.1.1.10);
- pari a **5,91 km/mq.**

4.2.2. Transport to the building site (A4)

La logistica dei trasporti per la realizzazione del SIS è analoga quella del SES, perciò è stata modellizzata con lo stesso dataset in Simapro.

Per il trasporto degli arbusti, essendo acquistati da vivai di zona, si è ipotizzata una distanza percorsa pari a 30 km.

Per il trasporto dell'impianto di irrigazione, essendo un componente fornito dall'installatore di zona, si è ipotizzata una distanza percorsa pari a 200 km.

Di seguito sono riportate le informazioni relative alle n. 9 spedizioni effettuate per la consegna dei materiali (packaging incluso) dai siti produttivi al cantiere.

#	Componenti trasportati	Partenza	Arrivo	Distanza [km]	Massa [kg]	Di- stanza*Mas sa [km*kg]
#1	PRATO IN SEMI	San Vito al Tagliamento (PN)	Cantiere	279	0,06	15
#2	ARBUSTI	Vivaio locale	Cantiere	30	0,20	6
#3	DAKU COM-POST	Tolentino (MC)	Pitigliano (GR)	207	5,69	1.178
#4	DAKU ROOF SOIL_1	Pitigliano (GR)	Cantiere	335	133,46	44.710
#5	DAKU PLUS-I	Castrocaro Terme (FC)	Roverbella (MN)	202	0,08	15
#6	DAKU STABI-FILTER SFI	Sandriago (VI)	Roverbella (MN)	106	0,27	28
#7	DAKU PRO + CONTROLLER	Forlì (FC)	Roverbella (MN)	200	0,10	20

#	Componenti trasportati	Partenza	Arrivo	Distanza [km]	Massa [kg]	Di- stanza*Mas sa [km*kg]
#8	DAKU FSD + ACCESSORI	Roverbella (MN)	Cantiere	75	1,67	125
#9	IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	Sede dell'instal- latore	Cantiere	200	0,10	20
TOTALE						46.118

Tabella 51 - Tratte effettuate per la spedizione dei componenti del SIS in cantiere

In totale la massa trasportata in cantiere per la realizzazione di 1 mq di SIS è pari a **46,118 tkm/mq** (+75% rispetto al SES).

Il **trasporto del substrato ROOF SOIL 1** dal sito produttivo al cantiere (tratta #4 in Tabella 51) risulta essere il più incisivo in termini assoluti, con una quota superiore al 96% del totale del prodotto di- stanza percorsa per massa trasportata. Nel bilancio di massa dei componenti del SIS il substrato ha una quota pari al 98% del totale (vedasi Tabella 6).

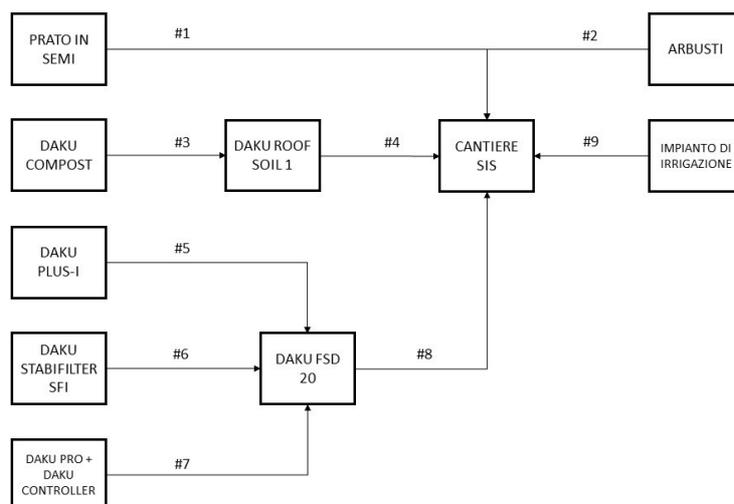


Figura 22 - Rappresentazione grafica delle tratte per la spedizione dei componenti del SIS in cantiere

4.2.3. Installation into the building (A5)

Il processo di installazione di 1 mq di SIS è analogo a quello modellato per il SES (vedasi paragrafo 4.1.3).

L'energia elettrica consumata dalla **gru di cantiere** per il sollevamento di 1 mq di SIS è pari a **0,021 kWh/mq**. Il maggior consumo energetico rispetto all'installazione di 1 mq SES (+51%) è dovuto al maggior peso specifico (kg/mq) da sollevare.

In totale durante l'installazione di 1 mq di SIS vengono prodotti **0,262 kg/mq** di rifiuti riciclabili inviati al centro di raccolta municipale. In Tabella 52 si riporta il dettaglio dei rifiuti prodotti.

Elemento	Packaging	Quantità [kg/mq]
VEGETAZIONE	Cartone	0,005
SUBSTRATO	PP	0,203
FILTRO	PET	0,008
ELEMENTO DI ACCUMULO E DRENAGGIO	PET	0,038
DAKU PRO + CONTROLLER	Cartone	0,009
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	Sfuso	0,000
TOTALE		0,262

Tabella 52 – Quantità di packaging per la realizzazione di 1 mq di SIS

Il packaging dell'arbusto non è stato considerato poiché viene restituito al vivaio.

Rispetto all'installazione del SES viene prodotta una maggior quantità di rifiuti da smaltire (+61%) a causa della maggior quantità di substrato utilizzata nel SIS.

4.2.4. Use (B1)

La fase di uso del SIS è analoga a quella del SES, con la differenza che la quantità di carbonio sequestrato annualmente è:

- pari a 671 g/mq (è stato scelto conservativamente il valore minimo tra le tre tipologie di erbe riportate in Tabella 38);
- doppia rispetto al SES.

La metodologia di calcolo è identica a quella riportata nel paragrafo 4.1.4.

Grandezza	Valore	Unità di misura	Fonte del dato
C annuo sequestrato	0,671	kg/(mq*anno)	Tabella 38
CO2 annua sequestrata	2,460	kg/(mq*anno)	Calcolo
CO2 vita utile sequestrata (UD)	123,017	kg/mq	Calcolo

Tabella 53 - Calcolo della CO2 catturata da 1 mq di SIS

La quantità di CO2 sequestrata da 1 mq di SIS è pari a **123,2 kg/mq** (+100% rispetto al SES).

4.2.5. Deconstruction, demolition (C1)

Per lo smontaggio di un tetto verde è necessaria la stessa **gru elettrica** utilizzata in fase di installazione, di conseguenza si è utilizzato lo stesso dataset per la fase di montaggio del tetto verde e si ipotizza un consumo di energia elettrica identico (vedasi paragrafo 4.2.3) pari a **0,021 kWh/mq**.

4.2.6. Transport (C2)

Per la fase di trasporto dal sito di costruzione al centro di smaltimento si sono fatte le seguenti ipotesi analoghe al modulo C2 del SES:

- il centro di smaltimento si trova ad una distanza di **30 km** dal sito di costruzione;

- la massa totale trasportata al centro di smaltimento è pari a **135,2 kg/mq**, equivalente al peso totale del SIS;
- il trasporto è effettuato con un mezzo pesante EURO6 con massa superiore alle 32 ton.

Il dataset utilizzato, analogamente alla fase di trasporto A4, è il seguente:

- Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

La quantità di massa trasportata al centro di trattamento rifiuti moltiplicata per la distanza percorsa risulta pari a **4,057 tkm/mq** (+51% rispetto al SES).

4.2.7. Waste processing (C3)

In Tabella 54 è riportata la caratterizzazione di fine vita per ogni componente del SIS.

Componente	Tipo di rifiuto	Trattamento a fine vita
VEGETAZIONE	Rifiuti biodegradabili (CER 20.02.01)	Compostaggio
DAKU ROOF SOIL_1	Terra e rocce (CER 17.05.04)	Riciclaggio/recupero
DAKU STABIFILTER SFI	Plastica esclusi imballaggi (CER 02.01.04)	Riciclaggio/recupero
DAKU FSD 20	Imballaggi di plastica (CER 15.01.02)	Riciclaggio/recupero
DAKU PRO + CONTROLLER	Alluminio (CER 17.04.02)	Riciclaggio/recupero
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	Plastica esclusi imballaggi (CER 02.01.04)	Riciclaggio/recupero

Tabella 54 - Caratterizzazione di fine vita dei componenti del SIS

Tutti i componenti vengono trattati per il compostaggio e riciclaggio/recupero.

I processi di trattamento di fine vita dei componenti del SIS sono analoghi a quello del SES (vedasi paragrafo 4.1.7), con le seguenti differenze:

- la vegetazione da inviare a compostaggio è un ordine di grandezza superiore;
- non è presente la ghiaia di zavorramento;
- il riciclaggio della plastica include anche i componenti dell'impianto di irrigazione.

Il substrato è un materiale inerte non pericoloso, perciò riutilizzabile tal quale.

Nella seguente tabella sono riportati i dataset utilizzati per modellare i processi di trattamento dei rifiuti.

Componente	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità	Unità di misura
VEGETAZIONE	Compost {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	15,00	kg
DAKU STABIFILTER SFI + DAKU FSD 20 + IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	Waste polyethylene, for recycling, sorted {Europe without Switzerland} treatment of waste polyethylene, for recycling, unsorted, sorting Cut-off, U	Ecoinvent	1,546	kg

Componente	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità	Unità di misura
DAKU PRO + DAKU CONTROLLER	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting {RER} treatment of aluminium scrap, post-consumer, by collecting, sorting, cleaning, pressing Cut-off, U	Ecoinvent	0,092	kg

Tabella 55 – Dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione del trattamento fine vita dei componenti di 1 mq di SIS

4.2.8. Disposal (C4)

Tutti i materiali risultano riciclabili e/o riutilizzabili, perciò nessun processo è stato considerato nel presente modulo.

4.2.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D)

I benefici ambientali sono analoghi a quelli del SES (vedasi paragrafo 4.1.9), con le seguenti differenze:

- non è presente la ghiaia di zavorramento;
- è presente un ulteriore beneficio, relativo alla potenziale evitata produzione di granulato di polietilene (PE) grazie al riciclaggio dei componenti dell'impianto di irrigazione.

Di seguito si riporta un riepilogo dei dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione dei benefici ambientali.

Beneficio	Unità di processo in Simapro	Database	Quantità [kg]
Produzione evitata di compost	Compost {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-15,00
Produzione evitata di minerale vulcanico	Pumice {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-127,57
Produzione evitata di lingotti in alluminio	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-0,092
Produzione evitata di PP in granuli	Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent	-0,260
Produzione evitata di PS in granuli	Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant RER	ELCD	-1,185
Produzione evitata di PE in granuli	Polyethylene high density granulate (PE-HD), production mix, at plant RER	ELCD	-0,101

Tabella 56 – Dataset utilizzati in Simapro per la modellizzazione del potenziale beneficio associato al riuso/riciclo/recupero di 1 mq di SIS (modulo D)

5. Valutazione degli impatti

5.1. Modelli di riferimento

Ogni modulo del ciclo di vita dei sistemi DAKU descritto nel paragrafo 4 è stato valutato coi seguenti metodi (tra parentesi è indicata la data dell'ultimo aggiornamento ed il numero della versione):

- EPD 2013 (novembre 2016 - versione 1.04)
- ILCD 2011 Midpoint+ (maggio 2016 – versione 1.10)
- ReCiPe 2016 Midpoint (H) (aprile 2018 – versione 1.02)
- Green House Gas Protocol (novembre 2016 - versione 1.02)
- AWARE (marzo 2017 - versione 1.01)
- CED (novembre 2017 - versione 1.10)
- inventario del flusso di rifiuti finali

A partire dai risultati ottenuti dai suddetti metodi, contenuti all'interno del software Simapro e suggeriti sul sito di envirodec, per ogni modulo del ciclo di vita sono stati ricavati:

- impatto ambientale
- uso delle risorse
- output

5.1.1. Impatto ambientale

Nella Tabella 57 sono riportati i parametri ambientali valutati, in conformità alla EN 15804.

Parametro ambientale secondo la EN 15804	Simbolo ¹⁹	Unità di misura	Metodo in Simapro	Modello
Riscaldamento globale - totale	GWP _{total}	kg CO2 eq.	Somma	Somma
Riscaldamento globale - fonti fossili	GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	GHG Protocol	IPCC 2013 – 100 anni
Riscaldamento globale - biogenico	GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	GHG Protocol	IPCC 2013 – 100 anni
Riscaldamento globale – suolo	GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	GHG Protocol	IPCC 2013 – 100 anni
Distruzione dello strato dell'Ozono	ODP	kg CFC-11 eq.	ILCD 2011 Midpoint+	World Meteorological Organization (WMO) – 100 anni
Acidificazione	AP	mol H+ eq.	ILCD 2011 Midpoint+	Seppälä et al. 2006 and Posch et al. 2008.

¹⁹ GWP = Global Warming Potential; ODP = Depletion Potential of the stratospheric Ozone layer; AP = Acidification Potential of land and water; EP = Eutrophication Potential; POCP = Potential formation of tropospheric Ozone photo-Chemical Oxidants; ADPE = Abiotic Depletion Potential for Elements; ADPF = Abiotic Depletion Potential for Fossil resources

Parametro ambientale secondo la EN 15804	Simbolo ¹⁹	Unità di misura	Metodo in Simapro	Modello
Eutrofizzazione acque dolci	EP _{fresh_water}	kg P eq.	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	ReCiPe 2016 Midpoint (H)
Eutrofizzazione acque marine	EP _{marine}	kg N eq.	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	ReCiPe 2016 Midpoint (H)
Eutrofizzazione terrestre	EP _{terrestrial}	mol N eq.	ILCD 2011 Midpoint+	Seppälä et al. 2006 and Posch et al. 2008.
Ossidazione fotochimica	POCP	kg NMVOC eq.	ILCD 2011 Midpoint+	Van Zelm et al. 2008.
Impoverimento abiotico (elementi)	ADPE	kg Sb eq.	EPD 2013	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002.
Impoverimento abiotico (fonti fossili)	ADPF	MJ	EPD 2013	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002.

Tabella 57 - Categorie di impatto ambientale valutate per ogni modulo

Il **riscaldamento globale** (GWP) indica il mutamento del clima terrestre sviluppatosi a partire dalla fine del XIX secolo e l'inizio del XX secolo e tuttora in corso, caratterizzato in generale dall'aumento della temperatura media globale e da fenomeni atmosferici a esso associati, causato dall'emissione nell'aria di gas ad effetto serra. Le emissioni di anidride carbonica equivalente sono distinte per fonti nelle seguenti categorie:

- fonti fossili (GWP_{fossil}) come petrolio e gas naturale;
- fonti biogeniche (GWP_{biogenic}) come piante e alberi;
- impatti diretti dovuti all'uso e trasformazione del suolo (GWP_{luluc});

Il Riscaldamento globale totale (GWP_{total}) è dato dalla somma delle suddette fonti di anidride carbonica equivalente.

La **distruzione dello strato dell'Ozono** (ODP) si verifica principalmente per distruzione catalitica da parte di composti alogenati di fonte antropica (esempio: gas refrigeranti) che raggiungono la stratosfera.

L'**acidificazione** (AP) degli oceani indica la decrescita del valore del pH oceanico, causato dalla assunzione di anidride carbonica di origine antropica dall'atmosfera.

L'**eutrofizzazione** delle acque dolci (EP_{fresh_water}), acque marine (EP_{marine}) e dei terreni (EP_{terrestrial}) indica l'eccessivo accrescimento degli organismi vegetali, che si ha per effetto della presenza di dosi troppo elevate di sostanze nutritive come azoto, fosforo o zolfo, provenienti da fonti naturali o antropiche.

L'**ossidazione fotochimica** (POCP) indica l'emissione in aria di ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili (VOC), i quali vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta presente nei raggi del sole; il tutto porta alla formazione di sostanze tossiche per gli esseri umani, per gli animali ed anche per i vegetali.

L'**impoverimento delle risorse abiotiche** quantifica la riduzione di materie prime non rinnovabili.

5.1.2. Uso delle risorse

Le risorse utilizzate in ogni modulo si possono raggruppare nelle seguenti categorie:

- risorse energetiche primarie;
- risorse secondarie;
- acqua.

In Tabella 57 si riporta un riepilogo delle risorse da riportare nella dichiarazione ambientale, come da EN 15804.

Uso delle risorse secondo la EN15804	Simbolo ²⁰	Unità di misura	Metodo
Energia primaria rinnovabile esclusa quella usata come materiale	PERE	MJ	Calcolo per differenza
Energia primaria rinnovabile usata come materiale	PERM	MJ	Inventario
Energia primaria rinnovabile totale	PERT	MJ	CED
Energia primaria non rinnovabile esclusa quella usata come materiale	PENRE	MJ	Calcolo per differenza
Energia primaria non rinnovabile usata come materiale	PENRM	MJ	Inventario
Energia primaria non rinnovabile totale	PENRT	MJ	CED
Materiale secondario	SM	kg	-
Combustibile secondario rinnovabile	RSF	MJ	-
Combustibile secondario non rinnovabile	NRSF	MJ	-
Acqua	FW	m3	AWARE

Tabella 58 – Uso delle risorse valutate per ogni modulo

Di seguito un riepilogo dei parametri, relativi all'uso delle risorse energetiche primarie, ottenuti col metodo di valutazione CED (Cumulative Energy Demand), versione 1.10, il quale classifica gli input di

²⁰ PERE = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; PERM = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; PERT = Total use of renewable primary energy resources; PENRE = Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials; PENRM = Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials; PENRT = Total use of non-renewable primary energy resources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; NRSF = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water

ogni processo con contenuto energetico in 6 tipologie. Ogni output del metodo CED è stato quindi classificato secondo la EN15804.

Output metodo CED (versione 1.10)	Uso delle risorse secondo la EN15804
Non renewable, fossil	PENRT
Non renewable, nuclear	PENRT
Non renewable, biomass	PENRT
Renewable, biomass	PERT
Renewable, wind, solar, geothe	PERT
Renewable, water	PERT

Tabella 59 – Parametri del metodo CED utilizzati per la quantificazione delle risorse energetiche primarie utilizzate in MJ

L'energia primaria rinnovabile esclusa quella usata come materiale (**PERE**) è calcolata come differenza tra l'energia primaria rinnovabile totale (PERT) e l'energia primaria rinnovabile usata come materiale (PERM). Di seguito i calcoli eseguiti:

$$PERE = PERT - PERM [MJ]$$

L'energia primaria rinnovabile usata come materiale (**PERM**) contenuta nel cartone, usato come packaging per i semi del SIS e per gli elementi in alluminio, è stata calcolata considerando un potere calorifico pari a 17 MJ/kg²¹, moltiplicato per la quantità di cartone. Di seguito i calcoli eseguiti:

$$PERM = PCI * massa [MJ]$$

L'energia primaria rinnovabile totale (**PERT**) è pari alla somma degli output del metodo CED di energia da biomassa, eolica, solare, geotermica e idrica.

L'energia primaria non rinnovabile esclusa quella usata come materiale (**PENRE**) è calcolata come differenza tra l'energia primaria non rinnovabile totale (PENRT) e l'energia primaria non rinnovabile usata come materiale (PENRM). Di seguito i calcoli eseguiti:

$$PENRE = PENRT - PENRM [MJ]$$

L'energia primaria non rinnovabile usata come materiale (**PENRM**) contenuta nei materiali plastici derivati da petrolio è stata calcolata a partire dal contenuto energetico relativo alla quota di petrolio utilizzato per la produzione di 1 kg di materia plastica riportato in Tabella 60 (si ipotizza che il 100% del petrolio sia usato come materia prima), moltiplicato per la massa del materiale plastico.

Materia plastica	Energia totale [MJ/kg]	Energia da petrolio [MJ/kg]	Energia da altro [MJ/kg]
PVC	53	24	29
PE	70	55	15

²¹ Fonte: <https://sito01.seieditrice.com/manuale-di-costruzioni/files/2012/01/Potere-calorifico-al-kg.pdf>

Materia plastica	Energia totale [MJ/kg]	Energia da petrolio [MJ/kg]	Energia da altro [MJ/kg]
PP	73	58	15
PS	80	55	25
PET	84	31	53

Tabella 60 - Contenuto energetico delle materie plastiche²²

Di seguito i calcoli eseguiti:

$$PERM = Energia da petrolio * massa [MJ]$$

L'**energia primaria non rinnovabile totale (PENRT)** è pari alla somma degli output del metodo CED di energia di origine fossile (carbone, gas naturale, torba e petrolio), nucleare e biomassa da foresta primaria.

Per la realizzazione dei componenti dei sistemi DAKU vengono utilizzati materiali vergini, perciò il consumo di **materiali secondari (SM)** è nullo in tutti i processi.

Dato che per l'analisi LCA della fase di produzione e trasporto sono stati utilizzati dataset generici non si è a conoscenza se vengano utilizzati combustibili secondari, dunque si ipotizza che siano nulli i consumi di **combustibili secondari rinnovabili (RSF)** e **combustibili secondari non rinnovabili (NRSF)**.

L'**acqua** consumata in ogni processo è stata quantificata col **metodo AWARE** (Available WATER Remaining) sviluppato da WULCA²³.

5.1.3. Output

Gli output da valutare per ogni modulo secondo la EN 15804 sono di tre tipologie:

- materiali non rinnovabili (rifiuti pericolosi, non pericolosi e radioattivi)
- materiali rinnovabili (riutilizzabili, riciclabili e per il recupero energetico)
- energia prodotta

In Tabella 57 si riporta un riepilogo degli output da riportare nella dichiarazione ambientale di prodotto, come da EN 15804.

Descrizione degli output	Simbolo ²⁴	Unità di misura
Rifiuti pericolosi	HWD	kg
Rifiuti non pericolosi	NHWD	kg

²² Fonte: <http://ces.iisc.ernet.in/hpg/envis/plasdoc612.html>

²³ <http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>

²⁴HWD = Hazardous waste disposed; NHWD = Non-hazardous waste disposed; RWD = Radioactive waste disposed; CRU = Components for re-use; MFR = Materials for recycling; MER = Materials for energy recovery; EEE = Exported electrical energy; EEE = Exported thermal energy

Descrizione degli output	Simbolo ²⁴	Unità di misura
Rifiuti radioattivi	RWD	kg
Materiali per il riuso	CRU	kg
Materiali per il riciclo	MFR	kg
Materiali per il recupero energetico	MER	kg
Energia elettrica esportata	EEE	MJ
Energia termica esportata	EET	MJ

Tabella 61 – Output valutati per ogni modulo

Per la quantificazione di rifiuti e materiali rinnovabili sono state considerate le sostanze classificate nell'inventario di Simapro come rifiuti per ogni processo, e sono state classificate come riportato in Tabella 62.

Sostanza output	Unità di misura	Tipo di output
Bauxite residue, from aluminium production	kg	HWD
Carcass meal	kg	MER
Chemical waste, inert	kg	NHWD
Chemical waste, regulated	kg	NHWD
Coal tailings	kg	NHWD
Compost	kg	CRU
Construction waste	kg	NHWD
Demolition waste, unspecified	kg	NHWD
Dross	kg	HWD
Metal waste	kg	MFR
Mineral waste	kg	CRU
Municipal waste, unspecified	kg	MER
Overburden (deposited)	kg	CRU
Packaging waste, metal	kg	MFR
Packaging waste, paper and board	kg	MFR
Packaging waste, plastic	kg	MFR
Packaging waste, wood	kg	MER
Plastic waste	kg	MFR
Radioactive tailings	kg	RWD
Radioactive waste	kg	RWD
Red mud	kg	HWD
Refractory	kg	CRU
Slag (uranium conversion)	kg	HWD
Slags	kg	HWD
Slags and ashes	kg	HWD
Spoil, unspecified	kg	HWD
Tailings, unspecified	kg	HWD
Waste in incineration	kg	MER
Waste returned to mine	kg	NHWD
Waste to recycling	kg	MFR
Waste, industrial	kg	HWD
Waste, organic	kg	MER
Waste, solid	kg	NHWD

Sostanza output	Unità di misura	Tipo di output
Waste, toxic	kg	HWD
Waste, unspecified	kg	MER
Wood waste	kg	MER

Tabella 62 - Inventario delle tipologie di rifiuti generate dall'output del software Simapro

Dall'analisi è emerso che non tutti i dataset presenti nei database di Simapro hanno rifiuti nell'inventario.

Inoltre, gli altri output dai confini del sistema sono:

- il packaging dei componenti in fase in installazione (modulo A5);
- i componenti del sistema a fine vita (modulo C3);
- i componenti con un potenziale beneficio (modulo D).

L'Organizzazione non esporta energia, perciò si considerano nulli i parametri EEE e EET.

5.2. Risultati

Di seguito si riportano gli **impatti ambientali** del Sistema Estensivo Standard di DAKU, raggruppati per modulo come da EN15804.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
GWP _{total}	kg CO2 eq.	-5,68E+01	8,27E+00	2,20E+00	6,56E-03	-6,16E+01	6,56E-03	2,25E-01	4,57E-01	0,00E+00	-6,35E+00
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	-5,68E+01	8,23E+00	2,18E+00	5,75E-03	-6,16E+01	5,75E-03	2,23E-01	4,50E-01	0,00E+00	-6,31E+00
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	4,97E-02	3,89E-02	1,87E-02	8,12E-04	0,00E+00	8,12E-04	1,91E-03	6,84E-03	0,00E+00	-1,83E-02
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	-1,46E-02	1,44E-03	4,86E-04	9,57E-07	0,00E+00	9,57E-07	4,96E-05	3,21E-04	0,00E+00	-1,69E-02
ODP	kg CFC-11 eq.	8,54E-07	5,08E-07	4,49E-07	6,63E-10	0,00E+00	6,63E-10	4,59E-08	3,26E-08	0,00E+00	-1,83E-07
AP	mol H+ eq.	1,65E-02	3,75E-02	6,83E-03	5,06E-05	0,00E+00	5,06E-05	6,98E-04	1,64E-03	0,00E+00	-3,02E-02
EP _{fresh_water}	kg P eq.	2,94E-04	7,66E-04	1,47E-04	1,76E-06	0,00E+00	1,76E-06	1,51E-05	8,45E-05	0,00E+00	-7,22E-04
EP _{marine}	kg N eq.	4,46E-05	5,50E-05	1,27E-05	1,29E-07	0,00E+00	1,29E-07	1,29E-06	2,94E-05	0,00E+00	-5,40E-05
EP _{terrestrial}	mol N eq.	4,97E-02	8,29E-02	1,61E-02	1,30E-04	0,00E+00	1,30E-04	1,65E-03	4,57E-03	0,00E+00	-5,59E-02
POCP	kg NMVOC eq.	1,58E-02	3,00E-02	6,24E-03	1,24E-05	0,00E+00	1,24E-05	6,37E-04	1,41E-03	0,00E+00	-2,26E-02
ADPE	kg Sb eq.	3,02E-05	2,73E-05	4,45E-06	1,13E-08	0,00E+00	1,13E-08	4,54E-07	1,38E-06	0,00E+00	-3,46E-06
ADPF	MJ	8,25E+01	1,69E+02	3,58E+01	6,69E-02	0,00E+00	6,69E-02	3,66E+00	4,89E+00	0,00E+00	-1,31E+02

Tabella 63 - Impatto ambientale per la realizzazione di 1 mq di SES

Di seguito si riportano gli **impatti ambientali** del Sistema Intensivo Standard di DAKU, raggruppati per modulo come da EN15804.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
GWP _{total}	kg CO2 eq.	-1,16E+02	9,32E+00	3,86E+00	9,85E-03	-1,23E+02	9,85E-03	3,39E-01	5,42E-01	0,00E+00	-7,01E+00
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	-1,16E+02	9,27E+00	3,82E+00	8,63E-03	-1,23E+02	8,63E-03	3,36E-01	5,34E-01	0,00E+00	-6,98E+00
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	7,08E-02	4,61E-02	3,27E-02	1,22E-03	0,00E+00	1,22E-03	2,88E-03	7,77E-03	0,00E+00	-2,11E-02
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	-1,40E-02	1,76E-03	8,51E-04	1,44E-06	0,00E+00	1,44E-06	7,48E-05	3,70E-04	0,00E+00	-1,71E-02
ODP	kg CFC-11 eq.	1,25E-06	5,97E-07	7,86E-07	9,95E-10	0,00E+00	9,95E-10	6,92E-08	4,27E-08	0,00E+00	-2,51E-07
AP	mol H+ eq.	2,78E-02	4,69E-02	1,20E-02	7,59E-05	0,00E+00	7,59E-05	1,05E-03	2,05E-03	0,00E+00	-3,43E-02
EP _{fresh_water}	kg P eq.	4,76E-04	8,69E-04	2,58E-04	2,63E-06	0,00E+00	2,63E-06	2,27E-05	9,70E-05	0,00E+00	-7,77E-04
EP _{marine}	kg N eq.	3,16E-04	3,17E-04	2,22E-05	1,93E-07	0,00E+00	1,93E-07	1,95E-06	3,27E-05	0,00E+00	-5,82E-05
EP _{terrestrial}	mol N eq.	8,20E-02	1,12E-01	2,82E-02	1,95E-04	0,00E+00	1,95E-04	2,48E-03	5,99E-03	0,00E+00	-6,72E-02
POCP	kg NMVOC eq.	2,17E-02	3,44E-02	1,09E-02	1,87E-05	0,00E+00	1,87E-05	9,61E-04	1,82E-03	0,00E+00	-2,65E-02
ADPE	kg Sb eq.	3,48E-05	2,90E-05	7,78E-06	1,69E-08	0,00E+00	1,69E-08	6,85E-07	1,60E-06	0,00E+00	-4,28E-06
ADPF	MJ	1,22E+02	1,94E+02	6,27E+01	1,00E-01	0,00E+00	1,00E-01	5,51E+00	5,97E+00	0,00E+00	-1,46E+02

Tabella 64 - Impatto ambientale per la realizzazione di 1 mq di SIS

Di seguito si riportano le **risorse** utilizzate dai sistemi standard DAKU, raggruppati per modulo come da EN15804.

Risorsa	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ	-1,05E+00	2,72E+00	6,47E-01	2,96E-02	0,00E+00	2,96E-02	6,60E-02	2,64E-01	0,00E+00	-4,81E+00
PERM	MJ	1,57E-01	1,57E-01	0,00E+00							
PERT	MJ	-8,95E-01	2,88E+00	6,47E-01	2,96E-02	0,00E+00	2,96E-02	6,60E-02	2,64E-01	0,00E+00	-4,81E+00
PENRE	MJ	8,04E+01	9,32E+01	3,92E+01	9,03E-02	0,00E+00	9,03E-02	4,00E+00	5,73E+00	0,00E+00	-6,19E+01
PENRM	MJ	8,76E+00	8,67E+01	0,00E+00	-7,79E+01						
PENRT	MJ	8,92E+01	1,80E+02	3,92E+01	9,03E-02	0,00E+00	9,03E-02	4,00E+00	5,73E+00	0,00E+00	-1,40E+02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00								
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
FW	m3	6,03E-02	1,13E+01	1,45E-01	4,32E-03	0,00E+00	4,32E-03	1,48E-02	9,01E-02	0,00E+00	-1,15E+01

Tabella 65 - Uso delle risorse per la realizzazione di 1 mq di SES

Risorsa	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ	5,05E-01	3,88E+00	1,13E+00	4,44E-02	0,00E+00	4,44E-02	9,96E-02	3,02E-01	0,00E+00	-5,00E+00
PERM	MJ	2,42E-01	2,42E-01	0,00E+00							
PERT	MJ	7,47E-01	4,13E+00	1,13E+00	4,44E-02	0,00E+00	4,44E-02	9,96E-02	3,02E-01	0,00E+00	-5,00E+00
PENRE	MJ	1,21E+02	1,07E+02	6,85E+01	1,36E-01	0,00E+00	1,36E-01	6,03E+00	6,94E+00	0,00E+00	-6,75E+01
PENRM	MJ	1,43E+01	1,00E+02	0,00E+00	-8,58E+01						
PENRT	MJ	1,35E+02	2,07E+02	6,85E+01	1,36E-01	0,00E+00	1,36E-01	6,03E+00	6,94E+00	0,00E+00	-1,53E+02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00								
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
FW	m3	1,04E-01	1,19E+01	2,53E-01	6,47E-03	0,00E+00	6,47E-03	2,23E-02	1,03E-01	0,00E+00	-1,22E+01

Tabella 66 - Uso delle risorse per la realizzazione di 1 mq di SIS

Di seguito si riportano gli **output** dei sistemi standard DAKU, raggruppati per modulo come da EN15804.

Output	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
HWD	kg	2,88E-02	6,25E-01	0,00E+00	-5,96E-01						
NHWD	kg	1,78E-03	8,18E-03	0,00E+00	-6,40E-03						
RWD	kg	9,99E-04	9,99E-04	0,00E+00							
CRU	kg	9,23E+01	1,32E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,10E+01	0,00E+00	-5,26E-02
MFR	kg	1,63E-01	1,90E-06	0,00E+00	1,63E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,90E-06
MER	kg	0,00E+00	3,24E-03	0,00E+00	-3,24E-03						
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00								

Tabella 67 - Output per la realizzazione di 1 mq di SES

Output	Unità di misura	Totale	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	C4	D
HWD	kg	3,11E-02	6,28E-01	0,00E+00	-5,97E-01						
NHWD	kg	4,52E-03	1,10E-02	0,00E+00	-6,48E-03						
RWD	kg	1,28E-03	1,28E-03	0,00E+00							
CRU	kg	1,52E+02	1,69E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,50E+02	0,00E+00	-5,46E-02
MFR	kg	2,63E-01	1,06E-03	0,00E+00	2,62E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,91E-06
MER	kg	1,92E-04	3,57E-03	0,00E+00	-3,37E-03						
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00								
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00								

Tabella 68 - Output per la realizzazione di 1 mq di SES

Nei seguenti sotto-paragrafi si riporta un'analisi dettagliata di impatti ambientali, risorse utilizzate e output relativi ad ogni modulo/fase del ciclo di vita dei due sistemi standard DAKU.

5.2.1. Sistema Estensivo Standard

Nel presente sotto-paragrafo si analizzano i risultati dell'analisi LCA relativi ad 1 mq di Sistema Estensivo Standard (SES).

5.2.1.1. Product stage (A1+A2+A3)

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali**, riferiti ad 1 mq di SES, dei processi relativi a:

- produzione dei componenti;
- consumi energetici (energia elettrica, calore e auto aziendali) effettuati nelle sedi dell'Organizzazione allocati.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Produzione Daku Roof Soil_2	Produzione di Daku Plus-E	Produzione Daku Stabfilter SFE	Produzione Daku PRO+CONTROLLER	Produzione Daku FSD 20	Produzione di ghiaia	Fornitura di energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
GWP _{total}	kg CO2 eq.	8,27E+00	8,59E-01	1,24E-01	5,47E-01	2,39E-01	4,33E+00	1,84E-01	8,53E-02	1,11E-01	1,79E+00
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	8,23E+00	8,54E-01	1,23E-01	5,46E-01	2,34E-01	4,33E+00	1,82E-01	7,48E-02	1,10E-01	1,78E+00
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	3,89E-02	4,63E-03	1,21E-03	3,63E-04	5,03E-03	1,82E-03	1,98E-03	1,06E-02	2,57E-04	1,31E-02
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	1,44E-03	3,29E-04	1,09E-04	8,47E-06	8,12E-05	4,24E-05	1,23E-04	1,24E-05	9,12E-06	7,21E-04
ODP	kg CFC-11 eq.	5,08E-07	1,16E-07	6,68E-09	3,71E-08	2,71E-08	2,25E-09	2,52E-08	8,62E-09	9,42E-09	2,75E-07
AP	mol H+ eq.	3,75E-02	5,85E-03	8,40E-04	2,45E-03	1,19E-03	1,61E-02	1,42E-03	6,58E-04	1,16E-04	8,83E-03
EP _{fresh_water}	kg P eq.	7,66E-04	9,88E-05	3,85E-05	3,35E-06	4,29E-06	1,69E-04	4,02E-05	2,28E-05	3,89E-06	3,85E-04
EP _{marine}	kg N eq.	5,50E-05	8,46E-06	2,32E-06	3,92E-06	2,59E-06	8,26E-06	2,61E-06	1,67E-06	3,77E-07	2,48E-05
EP _{terrestrial}	mol N eq.	8,29E-02	1,65E-02	2,11E-03	3,76E-03	1,60E-03	2,64E-02	4,49E-03	1,69E-03	2,04E-04	2,62E-02
POCP	kg NMVOC eq.	3,00E-02	4,88E-03	3,16E-04	1,45E-03	4,55E-04	1,37E-02	1,22E-03	1,62E-04	9,67E-05	7,79E-03
ADPE	kg Sb eq.	2,73E-05	1,60E-06	1,24E-06	8,88E-08	2,79E-08	4,27E-07	6,53E-07	1,47E-07	3,73E-08	2,31E-05
ADPF	MJ	1,69E+02	1,73E+01	8,88E-01	1,81E+01	2,59E+00	1,00E+02	2,42E+00	8,69E-01	1,58E+00	2,48E+01

Tabella 69 - Impatti ambientali della fase di produzione (moduli aggregati A1-A3) di 1 mq di SES

Dai risultati ottenuti, riportati nella precedente tabella e rappresentati in Figura 23, si evince che nel modulo A1-A3 del SES i processi più impattanti sono:

- produzione del substrato DAKU ROOF SOIL 2 (in blu chiaro);
- produzione del pannello in polistirolo DAKU FSD 20 (in celeste);
- flotta di automezzi aziendale (in grigio).

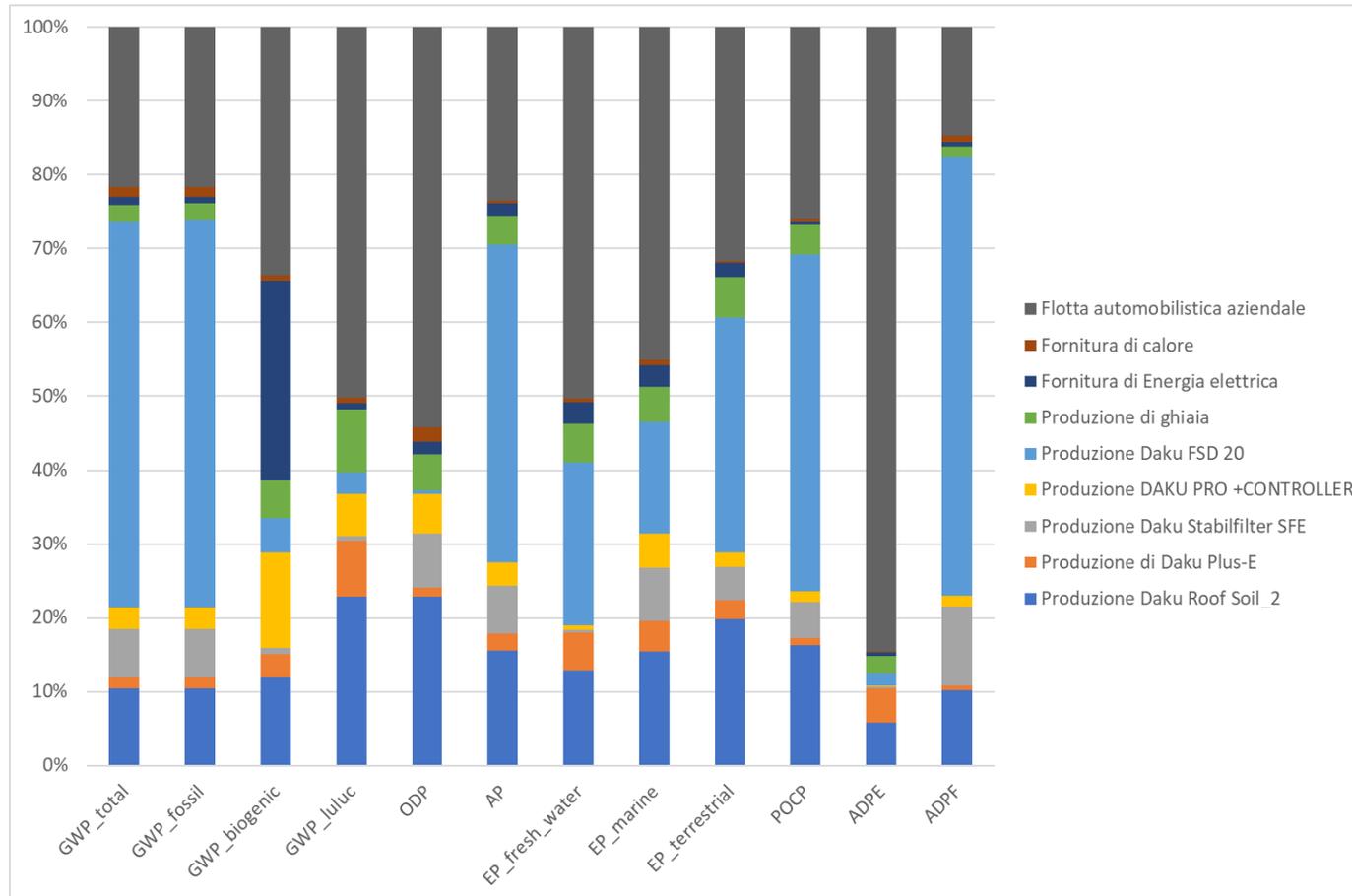


Figura 23 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di produzione (moduli aggregati A1-A3) di 1 mq di SES

La **produzione del pannello in polistirolo** è il processo più impattante per le seguenti categorie: acidificazione degli oceani (AP - 43%), riscaldamento globale (GWP - 52%), ossidazione fotochimica (POCP - 45%) ed impoverimento abiotico delle fonti fossili (ADPF - 59%).

La **flotta automobilistica aziendale** è il processo più impattante per le restanti categorie ambientali: eutrofizzazione delle acque dolci (EP_f - 50%), eutrofizzazione delle acque marine (EF_m - 45%), eutrofizzazione del suolo (EF_t - 32%), distruzione dell'Ozono (ODP - 54%) ed impoverimento abiotico (ADPE - 85%).

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per ogni processo della fase di produzione dei componenti di 1 mq di SES.

Risorse	Unità di misura	Totale	Produzione Daku Roof Soil_2	Produzione di Daku Plus-E	Produzione Daku Stabil-filter SFE	Produzione Daku PRO+CONTROLLER	Produzione Daku FSD 20	Produzione di ghiaia	Fornitura di energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
PERE	MJ	2,72E+00	3,03E-01	4,93E-02	1,92E-01	6,34E-01	4,05E-01	8,96E-02	3,84E-01	9,38E-03	6,54E-01
PERM	MJ	1,57E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,57E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	2,88E+00	3,03E-01	4,93E-02	1,92E-01	6,34E-01	5,61E-01	8,96E-02	3,84E-01	9,38E-03	6,54E-01
PENRE	MJ	9,32E+01	1,25E+01	1,01E+00	6,35E+00	-6,37E+01	1,04E+02	2,71E+00	1,17E+00	1,78E+00	2,72E+01
PENRM	MJ	8,67E+01	6,28E+00	0,00E+00	1,32E+01	6,72E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,80E+02	1,88E+01	1,01E+00	1,95E+01	3,53E+00	1,04E+02	2,71E+00	1,17E+00	1,78E+00	2,72E+01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	1,13E+01	1,70E+00	5,93E-02	-4,60E-02	-3,22E-02	8,39E+00	9,37E-01	5,61E-02	9,94E-04	2,11E-01

Tabella 70 - Uso delle risorse nella fase di produzione dei componenti (moduli A1-A3) di 1 mq di SES

In totale nella fase upstream di 1 mq di SES (moduli A1-A3) vengono consumati:

- 183 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 11,3 mc/mq di acqua (FW).

Il 99% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT) ed il restante 1% di tipo rinnovabile (PERT).

Il processo di **produzione del pannello DAKU FSD-20** risulta essere:

- il più energivoro in termini assoluti (57%), con un consumo pari a 105 MJ/mq di energia primaria totale (PERT+PENRT), di cui il 99% (104 MJ/mq) costituito da energia primaria contenuta nelle materie prime non rinnovabili (PENRM);
- quello col maggior uso idrico in assoluto (74%), con un consumo pari a 8,4 mc/mq di acqua (FW).

Nella seguente tabella si riportano gli **output** per ogni processo del modulo A1-A3 di 1 mq di SES.

Output	Unità	Totale	Produzione Daku Roof Soil_2	Produzione di Daku Plus-E	Produzione Daku Stabilfilter SFE	Produzione Daku PRO+CONTROLLER	Produzione Daku FSD 20	Produzione di ghiaia	Fornitura di energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
HWD	kg	6,25E-01	6,28E-04	0,00E+00	1,28E-03	2,68E-02	5,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	8,18E-03	4,30E-04	0,00E+00	8,75E-04	4,77E-04	6,40E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	9,99E-04	2,22E-04	0,00E+00	4,52E-04	3,25E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	1,32E+00	2,95E-01	0,00E+00	6,01E-01	3,77E-01	5,26E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	1,90E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,90E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	3,24E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,24E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 71 - Output nella fase di produzione (moduli A1-A3) dei componenti la realizzazione di 1 mq di SES

In totale nella fase di produzione dei componenti di 1 mq di SES vengono prodotti 1,96 kg/mq di output.

Il 67% degli output in termini massivi è costituito da materiale per il riuso (CRU), composto principalmente da “Overburden”, roccia e suolo che si trovano al disopra di un giacimento facente parte del materiale che deve essere rimosso e scartato dalla lavorazione, riutilizzabile per la ri-coltivazione di altri giacimenti.

5.2.1.2. Trasport to the building site (A4)

Il trasporto in cantiere (modulo A4) dei componenti di 1 mq di SES viene effettuato in n. 8 spedizioni.

Tutti i trasporti sono stati modellizzati con lo stesso dataset, relativo ad un autotreno a gasolio Euro 6 da 32 tonnellate, di conseguenza gli impatti ambientali e le risorse utilizzate sono direttamente proporzionali al prodotto (misurato in tkm) tra la distanza percorsa e la massa trasportata.

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** per singolo trasporto.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	#1 - Daku Sedum	#2 - Daku Compost	#3 - Daku Roof Soil 2	#4 - Daku Plus-E	#5 - Daku Stabifilter SFE	#6 - Daku PRO+CON-TROLLER	#7 - Daku FSD 20 + accessori	#8 - Ghiaia
GWP_{total}	kg CO2 eq.	2,20E+00	1,98E-03	9,94E-02	2,05E+00	1,08E-03	2,02E-03	1,70E-03	1,01E-02	3,76E-02
GWP_{fossil}	kg CO2 eq.	2,18E+00	1,96E-03	9,86E-02	2,03E+00	1,07E-03	2,00E-03	1,68E-03	1,00E-02	3,73E-02
$GWP_{biogenic}$	kg CO2 eq.	1,87E-02	1,68E-05	8,44E-04	1,74E-02	9,15E-06	1,71E-05	1,44E-05	8,60E-05	3,19E-04
GWP_{luluc}	kg CO2 eq.	4,86E-04	4,37E-07	2,19E-05	4,52E-04	2,38E-07	4,45E-07	3,74E-07	2,24E-06	8,30E-06
ODP	kg CFC-11 eq.	4,49E-07	4,04E-10	2,03E-08	4,18E-07	2,20E-10	4,11E-10	3,46E-10	2,07E-09	7,67E-09
AP	mol H+ eq.	6,83E-03	6,15E-06	3,08E-04	6,36E-03	3,35E-06	6,25E-06	5,27E-06	3,14E-05	1,17E-04
EP_{fresh_water}	kg P eq.	1,47E-04	1,33E-07	6,65E-06	1,37E-04	7,22E-08	1,35E-07	1,14E-07	6,78E-07	2,52E-06
EP_{marine}	kg N eq.	1,27E-05	1,14E-08	5,72E-07	1,18E-05	6,21E-09	1,16E-08	9,76E-09	5,83E-08	2,16E-07
$EP_{terrestrial}$	mol N eq.	1,61E-02	1,45E-05	7,27E-04	1,50E-02	7,89E-06	1,47E-05	1,24E-05	7,42E-05	2,75E-04
POCP	kg NMVOC eq.	6,24E-03	5,61E-06	2,82E-04	5,80E-03	3,06E-06	5,71E-06	4,81E-06	2,87E-05	1,07E-04
ADPE	kg Sb eq.	4,45E-06	4,00E-09	2,01E-07	4,14E-06	2,18E-09	4,07E-09	3,43E-09	2,05E-08	7,60E-08
ADPF	MJ	3,58E+01	3,22E-02	1,62E+00	3,33E+01	1,75E-02	3,28E-02	2,76E-02	1,65E-01	6,12E-01

Tabella 72 - Impatti ambientali nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SES

Nella seguente tabella si riportano le **risorse utilizzate** per singolo trasporto.

Risorse	Unità di misura	Totale	#1 - Daku Sedum	#2 - Daku Compost	#3 - Daku Roof Soil 2	#4 - Daku Plus-E	#5 - Daku Stabifilter SFE	#6 - Daku PRO+CONTROLLER	#7 - Daku FSD 20 + accessori	#8 - Ghiaia
PERE	MJ	6,47E-01	5,82E-04	2,92E-02	6,01E-01	3,17E-04	5,92E-04	4,98E-04	2,98E-03	1,10E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	6,47E-01	5,82E-04	2,92E-02	6,01E-01	3,17E-04	5,92E-04	4,98E-04	2,98E-03	1,10E-02
PENRE	MJ	3,92E+01	3,52E-02	1,77E+00	3,64E+01	1,92E-02	3,58E-02	3,02E-02	1,80E-01	6,69E-01
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	3,92E+01	3,52E-02	1,77E+00	3,64E+01	1,92E-02	3,58E-02	3,02E-02	1,80E-01	6,69E-01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	1,45E-01	1,30E-04	6,52E-03	1,34E-01	7,08E-05	1,32E-04	1,11E-04	6,65E-04	2,47E-03

Tabella 73 - Uso delle risorse nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SES

Il **trasporto del substrato DAKU ROOF SOIL 2** (#2 in Tabella 72 e Tabella 73 - in grigio in Figura 24) è il tragitto con il maggior impatto ambientale e maggior uso delle risorse in assoluto, in quanto il substrato è il componente con il maggior peso in assoluto nel bilancio di massa di 1 mq di SES.

Le risorse utilizzate per il trasporto in cantiere di 1 mq di SES sono:

- 39,8 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 98% non rinnovabile (PENRT);
- 0,145 mc/mq di acqua (FW).

Il processo di trasporto non ha **output**.

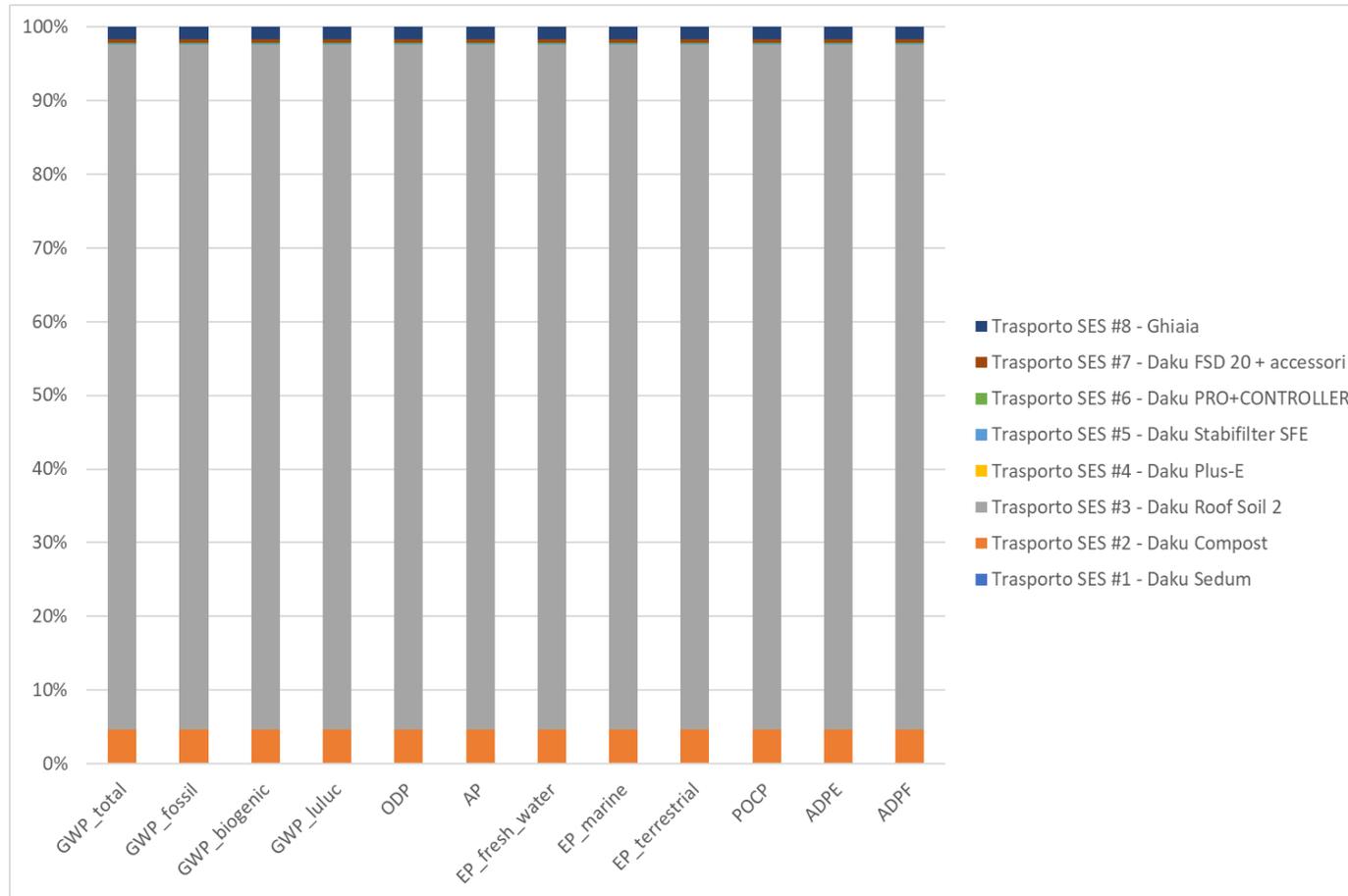


Figura 24 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SES

5.2.1.3. Installation into the building (A5)

L'unico processo incluso nel presente modulo è l'utilizzo della **gru elettrica** per il sollevamento di 1 mq di SES.

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** dei processi relativi all'installazione di 1 mq di SES.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
GWP _{total}	kg CO2 eq.	6,56E-03	6,56E-03
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	5,75E-03	5,75E-03
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	8,12E-04	8,12E-04
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	9,57E-07	9,57E-07
ODP	kg CFC-11 eq.	6,63E-10	6,63E-10
AP	mol H+ eq.	5,06E-05	5,06E-05
EP _{fresh_water}	kg P eq.	1,76E-06	1,76E-06
EP _{marine}	kg N eq.	1,29E-07	1,29E-07
EP _{terrestrial}	mol N eq.	1,30E-04	1,30E-04
POCP	kg NMVOC eq.	1,24E-05	1,24E-05
ADPE	kg Sb eq.	1,13E-08	1,13E-08
ADPF	MJ	6,69E-02	6,69E-02

Tabella 74 - Impatti ambientali della fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SES

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per la fase di installazione di 1 mq di SES.

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PERE	MJ	2,96E-02	2,96E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	2,96E-02	2,96E-02
PENRE	MJ	9,03E-02	9,03E-02
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PENRT	MJ	9,03E-02	9,03E-02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	4.32E-03	4.32E-03

Tabella 75 - Uso delle risorse della fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SES

Le risorse utilizzate per l'installazione di 1 mq di SES sono:

- 0,12 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 75% non rinnovabile (PENRT);
- 0,004 mc/mq di acqua (FW).

Nella seguente tabella si riportano gli **output** della fase di installazione di 1 mq di SES.

Output	Unità	Totale	Packaging Roof Soil 2	Packaging FSD-20	Packaging STABI-FILTER	Packaging PRO+CON-TROLLER
HWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	1,63E-01	1,08E-01	3,75E-02	7,50E-03	9,21E-03
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 76 - Output nella fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SES

L'unico output nella fase di installazione sono i materiali del **packaging dei componenti**, inviati al centro di trattamento rifiuti municipale per il riciclo (MFR), con una massa totale pari a 0,163 kg/mq.

5.2.1.4. Use (B1)

L'unico processo incluso nel presente modulo è la **cattura di CO₂** da parte della vegetazione durante la vita utile del SES, pari a 50 anni.

Per il presente modulo si considerano soltanto gli **impatti ambientali** (negativi), in quanto l'uso delle risorse energetiche e idriche dev'essere analizzato nei moduli B5 e B6 esclusi dalla presente analisi. Di seguito i risultati:

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	CO₂ catturata dalla vegetazione
GWP_{total}	kg CO ₂ eq.	-6,16E+01	-6,16E+01
GWP_{fossil}	kg CO ₂ eq.	-6,16E+01	-6,16E+01
$GWP_{biogenic}$	kg CO ₂ eq.	0,00E+00	0,00E+00
GWP_{luluc}	kg CO ₂ eq.	0,00E+00	0,00E+00
ODP	kg CFC-11 eq.	0,00E+00	0,00E+00
AP	mol H ⁺ eq.	0,00E+00	0,00E+00
EP _{fresh_water}	kg P eq.	0,00E+00	0,00E+00
EP _{marine}	kg N eq.	0,00E+00	0,00E+00
EP _{terrestrial}	mol N eq.	0,00E+00	0,00E+00
POCP	kg NMVOC eq.	0,00E+00	0,00E+00
ADPE	kg Sb eq.	0,00E+00	0,00E+00
ADPF	MJ	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 77 - Impatti ambientali della fase di uso (modulo B1) di 1 mq di SES

In 50 anni di vita utile il Sedum cattura 61,6 kg/mq di anidride carbonica. Si ipotizza che la CO₂ assorbita dalle piante sia al 100% di origine fossile.

5.2.1.5. Deconstruction, demolition (C1)

L'unico processo incluso nel presente modulo è l'utilizzo della **gru elettrica**, analogamente alla fase di installazione (modulo A5).

Nelle seguenti tabelle si riportano gli **impatti ambientali** e l'uso delle **risorse**, relativi allo smontaggio di 1 mq di SES.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
GWP _{total}	kg CO2 eq.	6,56E-03	6,56E-03
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	5,75E-03	5,75E-03
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	8,12E-04	8,12E-04
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	9,57E-07	9,57E-07
ODP	kg CFC-11 eq.	6,63E-10	6,63E-10
AP	mol H+ eq.	5,06E-05	5,06E-05
EP _{fresh_water}	kg P eq.	1,76E-06	1,76E-06
EP _{marine}	kg N eq.	1,29E-07	1,29E-07
EP _{terrestrial}	mol N eq.	1,30E-04	1,30E-04
POCP	kg NMVOC eq.	1,24E-05	1,24E-05
ADPE	kg Sb eq.	1,13E-08	1,13E-08
ADPF	MJ	6,69E-02	6,69E-02

Tabella 78 - Impatti ambientali della fase di smontaggio (modulo C1) di 1 mq di SES

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PERE	MJ	2,96E-02	2,96E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	2,96E-02	2,96E-02
PENRE	MJ	9,03E-02	9,03E-02
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	9,03E-02	9,03E-02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
FW	mc	4,32E-03	4,32E-03

Tabella 79 - Uso delle risorse relativo alla fase di smontaggio (modulo C1) di 1 mq di SES

Le risorse utilizzate per lo smontaggio di 1 mq di SES sono:

- 0,12 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 75% non rinnovabile (PENRT);
- 0,004 mc/mq di acqua (FW);
- analoghe a quelle utilizzate in fase di installazione (modulo A5).

In questo modulo non ci sono **output**.

5.2.1.6. Trasport (C2)

Nelle seguenti tabelle si riportano gli **impatti ambientali** e l'uso delle **risorse**, relativi al trasporto a fine vita di 1 mq di SES dal sito di installazione al centro di smaltimento distante 30 km.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
GWP _{total}	kg CO2 eq.	2,25E-01	2,25E-01
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	2,23E-01	2,23E-01
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	1,91E-03	1,91E-03
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	4,96E-05	4,96E-05
ODP	kg CFC-11 eq.	4,59E-08	4,59E-08
AP	mol H+ eq.	6,98E-04	6,98E-04
EP _{fresh_water}	kg P eq.	1,51E-05	1,51E-05
EP _{marine}	kg N eq.	1,29E-06	1,29E-06
EP _{terrestrial}	mol N eq.	1,65E-03	1,65E-03

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
POCP	kg NMVOC eq.	6,37E-04	6,37E-04
ADPE	kg Sb eq.	4,54E-07	4,54E-07
ADPF	MJ	3,66E+00	3,66E+00

Tabella 80 - Impatti ambientali relativi alla fase di trasporto a fine vita (modulo C2) di 1 mq di SES

Output	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
PERE	MJ	6,60E-02	6,60E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	6,60E-02	6,60E-02
PENRE	MJ	4,00E+00	4,00E+00
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	4,00E+00	4,00E+00
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	1,48E-02	1,48E-02

Tabella 81 - Uso delle risorse relativi alla fase di trasporto a fine vita (modulo C2) di 1 mq di SES

Le risorse utilizzate per il trasporto a fine vita di 1 mq di SES sono:

- 4,07 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 98% non rinnovabile (PENRT);
- 0,015 mc/mq di acqua (FW).

In questo modulo non ci sono **output**.

5.2.1.7. Waste processing (C3)

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** dei processi relativi al trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SES.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Riciclaggio delle materie plastiche	Riciclaggio dell'alluminio	Compostaggio della vegetazione
GWP_{total}	kg CO ₂ eq.	4,57E-01	4,23E-01	2,89E-02	4,72E-03
GWP_{fossil}	kg CO ₂ eq.	4,50E-01	4,17E-01	2,80E-02	4,68E-03
$GWP_{biogenic}$	kg CO ₂ eq.	6,84E-03	5,91E-03	8,92E-04	3,71E-05
GWP_{luluc}	kg CO ₂ eq.	3,21E-04	3,06E-04	1,32E-05	1,99E-06
ODP	kg CFC-11 eq.	3,26E-08	3,01E-08	1,70E-09	7,90E-10
AP	mol H ⁺ eq.	1,64E-03	1,50E-03	1,12E-04	2,93E-05
EP _{fresh_water}	kg P eq.	8,45E-05	7,30E-05	1,09E-05	5,76E-07
EP _{marine}	kg N eq.	2,94E-05	2,87E-05	6,72E-07	4,04E-08
EP _{terrestrial}	mol N eq.	4,57E-03	4,24E-03	2,20E-04	1,11E-04
POCP	kg NMVOC eq.	1,41E-03	1,32E-03	5,81E-05	3,06E-05
ADPE	kg Sb eq.	1,38E-06	1,19E-06	1,71E-07	1,22E-08
ADPF	MJ	4,89E+00	4,64E+00	1,83E-01	6,80E-02

Tabella 82 - Impatti ambientali relativi al trattamento a fase vita (modulo C3) di 1 mq di SES

Dai risultati riportati nella precedente tabella si evince che nella fase di trattamento a fine vita dei componenti del SES il processo più impattante in termini assoluti, per ogni categoria ambientale, è il riciclaggio delle materie plastiche, vale a dire il trattamento a fine vita dei seguenti elementi:

- pannello DAKU FSD-20
- filtro DAKU STABIFILTER SFE

Nella seguente figura, in cui è rappresentata la ripartizione percentuale degli impatti ambientali tra i processi inclusi nel presente modulo, si nota che la quota relativa al riciclaggio delle materie plastiche (in blu) è sempre superiore all'86% del totale per ogni categoria ambientale valutata.

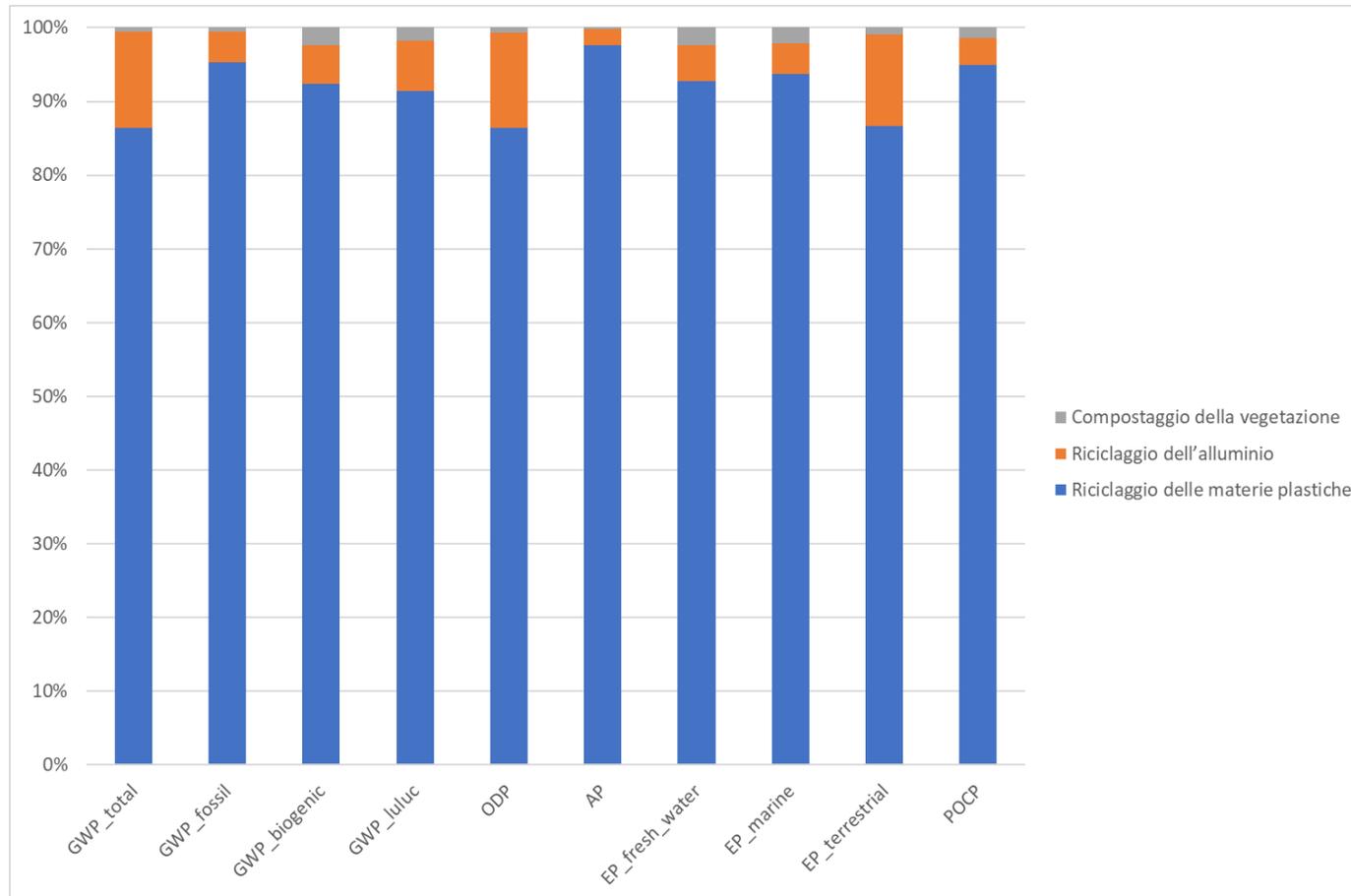


Figura 25 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SES

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per ogni processo relativo alla fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SES.

Parametro	Unità di misura	Totale	Riciclaggio delle materie plastiche	Riciclaggio dell'alluminio	Compostaggio della vegetazione
PERE	MJ	2,64E-01	2,41E-01	2,21E-02	1,48E-03
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	2,64E-01	2,41E-01	2,21E-02	1,48E-03
PENRE	MJ	5,73E+00	5,42E+00	2,28E-01	7,43E-02
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	5,73E+00	5,42E+00	2,28E-01	7,43E-02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	9,01E-02	8,67E-02	2,94E-03	5,00E-04

Tabella 83 - Uso delle risorse nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SES

In totale nella fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SES (modulo C3) vengono consumati:

- 6 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 0,090 mc/mq di acqua (FW).

Il 96% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT).

Il **riciclaggio delle materie plastiche** (prima colonna nel seguente grafico) è il processo con maggior consumo in assoluto di energia primaria e acqua.

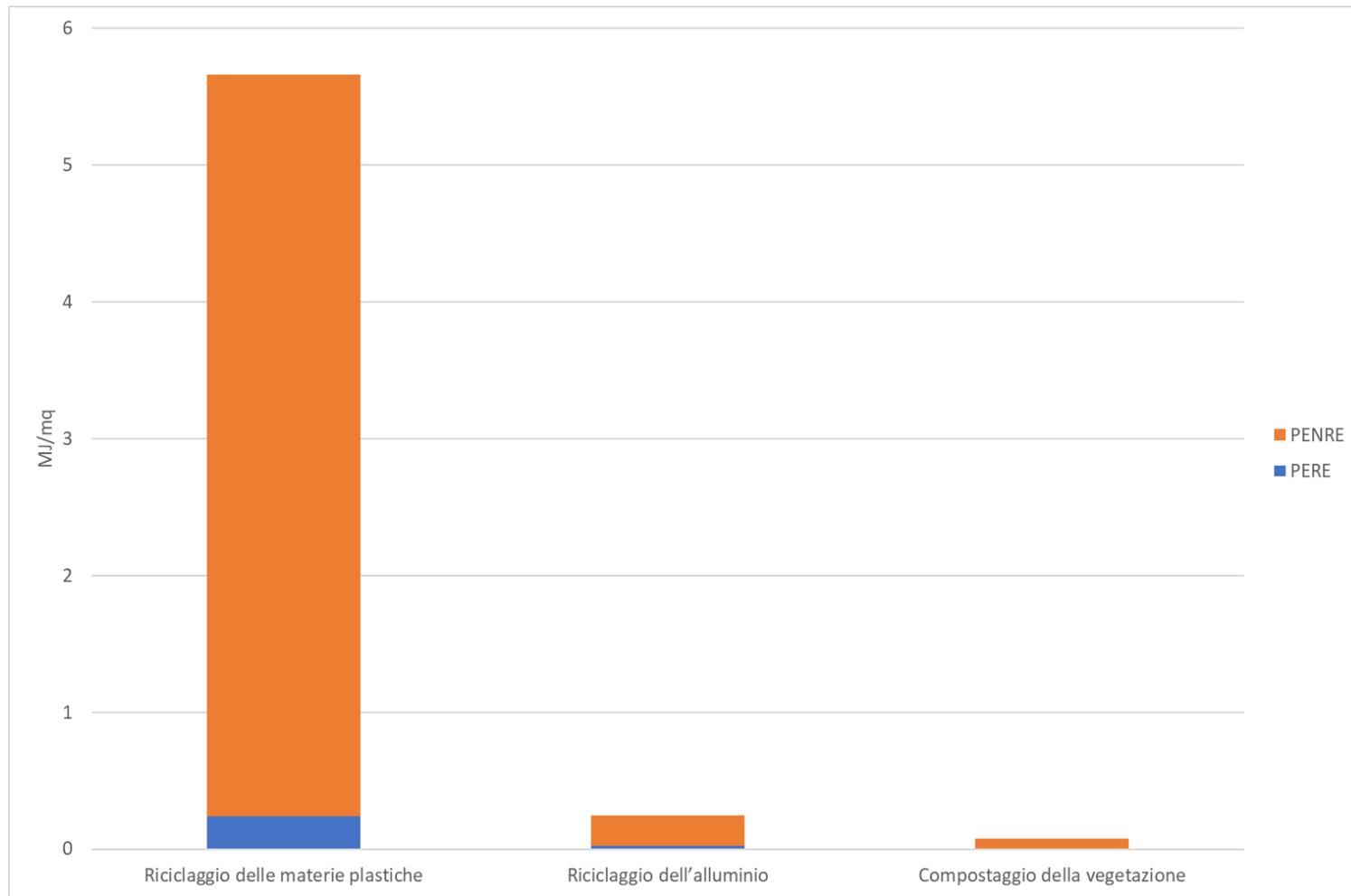


Figura 26 - Consumi di energia primaria (uso delle risorse) relativi alla fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SES

Nella seguente tabella si riportano gli **output** nella fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SES (modulo C3).

Output	Unità	Totale	Plastica riciclata	Alluminio riciclato	Compost	Substrato	Ghiaia
HWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	9,10E+01	1,41E+00	9,21E-02	1,50E+00	7,30E+01	1,50E+01
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 84 - Output nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SES

Gli output dai confini del sistema nel presente modulo sono tutti materiali per il ri-uso (CRU), e sono:

- plastica riciclata (DAKU STABIFILTER SFE e DAKU FSD 20);
- alluminio riciclato (DAKU PRO e DAKU CONTROLLER);
- compost ottenuto dal compostaggio della vegetazione;
- substrato (DAKU ROOF SOIL 2) e ghiaia riutilizzabili.

5.2.1.8. Disposal (C4)

Tutti i materiali risultano riciclabili e/o riutilizzabili, perciò nessun processo è stato considerato nel presente modulo.

5.2.1.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D)

Nella seguente tabella si riportano i potenziali **impatti ambientali** evitati nella fase di riuso, recupero e riciclo a fine vita dei componenti di 1 mq di SES (modulo D).

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di ghiaia	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
GWP_{total}	kg CO2 eq.	-6,35E+00	-8,90E-01	-4,68E-01	-4,21E+00	-1,84E-01	-5,84E-01	-4,72E-03
GWP_{fossil}	kg CO2 eq.	-6,31E+00	-8,64E-01	-4,66E-01	-4,21E+00	-1,82E-01	-5,79E-01	-4,68E-03
$GWP_{biogenic}$	kg CO2 eq.	-1,83E-02	-9,24E-03	-2,52E-03	0,00E+00	-1,98E-03	-4,49E-03	-3,71E-05
GWP_{luluc}	kg CO2 eq.	-1,69E-02	-1,65E-02	-8,34E-06	0,00E+00	-1,23E-04	-3,21E-04	-1,99E-06
ODP	kg CFC-11 eq.	-1,83E-07	-5,92E-08	-3,12E-09	0,00E+00	-2,52E-08	-9,48E-08	-7,90E-10
AP	mol H+ eq.	-3,02E-02	-6,79E-03	-1,77E-03	-1,56E-02	-1,42E-03	-4,59E-03	-2,93E-05
EP_{fresh_water}	kg P eq.	-7,22E-04	-4,13E-04	-1,65E-05	-1,56E-04	-4,02E-05	-9,63E-05	-5,76E-07
EP_{marine}	kg N eq.	-5,40E-05	-3,53E-05	-2,41E-06	-7,12E-06	-2,61E-06	-6,49E-06	-4,04E-08
$EP_{terrestrial}$	mol N eq.	-5,59E-02	-8,01E-03	-3,56E-03	-2,54E-02	-4,49E-03	-1,43E-02	-1,11E-04
POCP	kg NMVOC eq.	-2,26E-02	-2,29E-03	-1,73E-03	-1,32E-02	-1,22E-03	-4,09E-03	-3,06E-05
ADPE	kg Sb eq.	-3,46E-06	-8,52E-07	-5,54E-08	-3,75E-07	-6,53E-07	-1,51E-06	-1,22E-08
ADPF	MJ	-1,31E+02	-7,81E+00	-1,47E+01	-9,75E+01	-2,42E+00	-8,42E+00	-6,80E-02

Tabella 85 - Impatti ambientali evitati nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SES

Il beneficio associato alla produzione dei semi-lavorati di alluminio e plastica (PP e PS) annulla gran parte degli impatti ambientali relativi alla produzione dei rispettivi componenti (moduli A1-A3), mentre nel caso di ghiaia e substrato il riuso equivale ad un annullamento del 100% degli impatti ambientali.

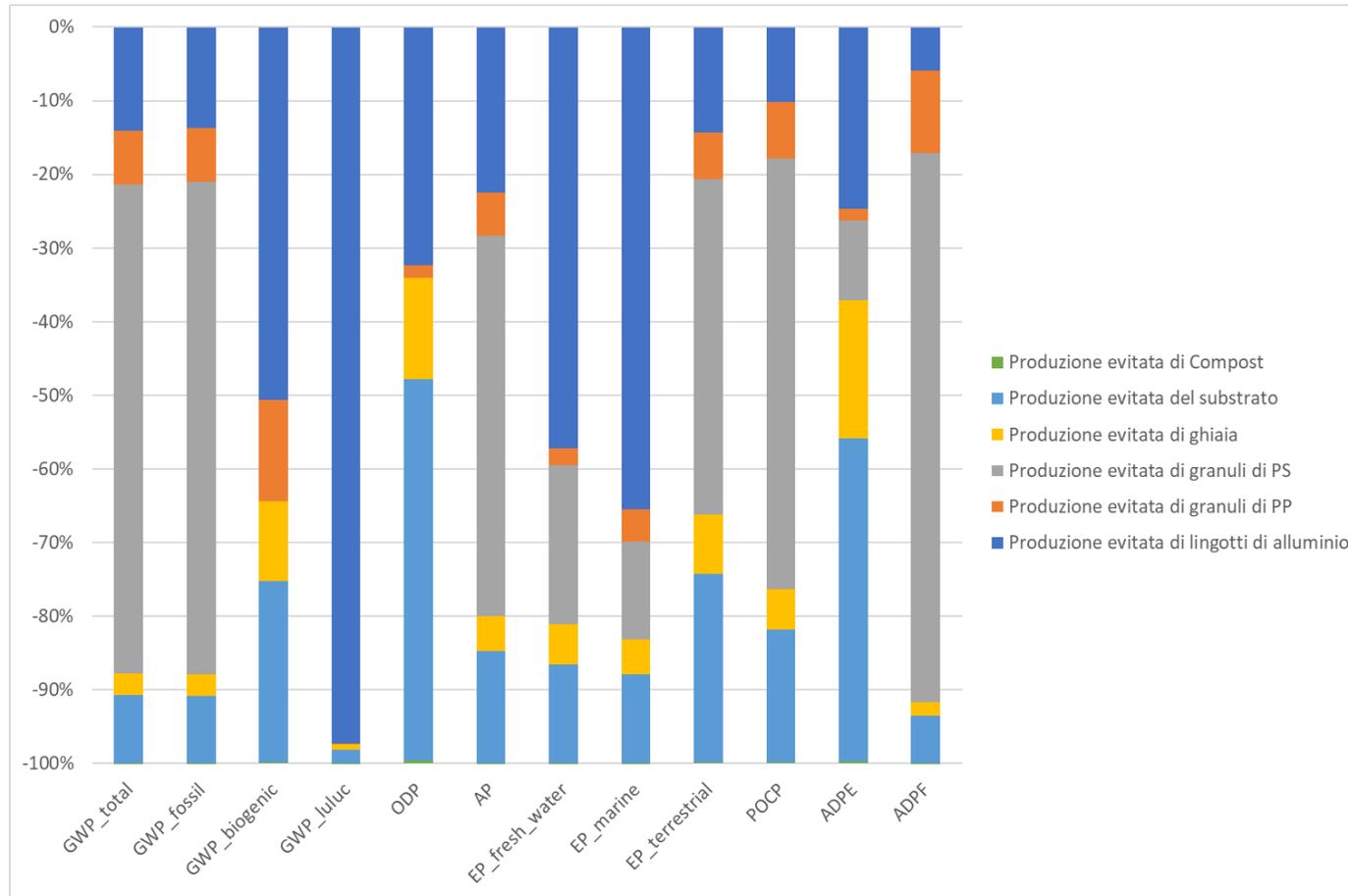


Figura 27 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali evitati nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SES

Dai risultati, riportati in Tabella 85 e rappresentati graficamente in Figura 27, si evince che nel modulo D, relativo ad 1 mq di SES, il **riciclo dell'alluminio** (DAKU PRO e CONTROLLER), il **riciclo del polistirolo** (DAKU FSD 20) ed il **riuso del substrato** (DAKU ROOF SOIL 2) sono i processi con i maggiori benefici ambientali.

Nello specifico:

- la produzione evitata di granuli di PS (in grigio nella figura) ha il maggior beneficio ambientale nelle seguenti categorie:
 - AP = 52%
 - GWP = 66%
 - POCP = 59%
 - EP_t = 45%
 - ADPF = 74%
- la produzione evitata di lingotti in alluminio (in blu nella figura) ha il maggior beneficio ambientale in assoluto nelle categorie:
 - EP_f = 57%
 - EP_m = 65%
- la produzione evitata di substrato (in celeste nella figura) ha il maggior beneficio ambientale nelle seguenti categorie:
 - ODP = 52%
 - ADPE = 44%

Nella seguente tabella si riporta l'uso evitato di **risorse** per ogni processo della fase di riciclo/riuso di 1 mq di SES.

Risorse	Unità di misura	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di ghiaia	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
PERE	MJ	-4,81E+00	-3,96E+00	-1,12E-01	-4,34E-01	-8,96E-02	-2,16E-01	-1,48E-03
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	-4,81E+00	-3,96E+00	-1,12E-01	-4,34E-01	-8,96E-02	-2,16E-01	-1,48E-03
PENRE	MJ	-6,19E+01	-1,03E+01	-3,94E+00	-3,56E+01	-2,71E+00	-9,29E+00	-7,43E-02
PENRM	MJ	-7,79E+01	0,00E+00	-1,28E+01	-6,52E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	-1,40E+02	-1,03E+01	-1,67E+01	-1,01E+02	-2,71E+00	-9,29E+00	-7,43E-02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	-1,15E+01	-3,35E-01	-1,44E-01	-8,33E+00	-9,37E-01	-1,73E+00	-5,00E-04

Tabella 86 – Evitato uso delle risorse nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SES

In totale nella fase di riuso/riciclo dei componenti di 1 mq di SES (modulo D) si evita il consumo di:

- 145 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 11,5 mc/mq di acqua (FW).

Il 96% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT).

I processi con maggior benefici, in termini di uso di risorse evitato, sono la produzione evitata di lingotti di alluminio, grazie al **riciclaggio dei componenti DAKU PRO e DAKU CONTROLLER**, e la produzione evitata di granuli di PS, grazie al **riciclaggio del pannello in polistirolo DAKU FSD-20**.

Nella seguente tabella si riportano gli **output** relativi al modulo D di 1 mq di SES.

Categoria	Unità	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di ghiaia	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
HWD	kg	-5,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	-5,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	-6,40E-03	0,00E+00	0,00E+00	-6,40E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	-5,26E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,26E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	-1,90E-06	0,00E+00	0,00E+00	-1,90E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	-3,24E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 87 - Output evitati nella fase di riuso/riciclo (modulo D) di 1 mq di SES

In totale nella fase di riuso/riciclo dei componenti di 1 mq di SES vengono evitati 0,658 kg/mq di output. L'unico dataset con rifiuti come output nell'inventario di Simapro, tra quelli utilizzati per la modellizzazione, è quello relativo alla produzione europea di granulato di polistirene estrapolato dal database ELCD, mentre gli altri dataset presi dal database Ecoinvent non ne hanno. Trattandosi di un beneficio si ritiene che l'assenza di dati relativi ai rifiuti sia conservativa.

5.2.2. Sistema Intensivo Standard

Nel presente sotto-paragrafo si analizzano i risultati dell'analisi LCA relativi ad 1 mq di Sistema Intensivo Standard (SIS).

5.2.2.1. Product stage (A1+A2+A3)

Nella seguente tabella si riportano gli impatti ambientali, riferiti ad 1 mq di SIS, dei processi relativi a:

- produzione dei componenti;
- consumi energetici effettuati nelle sedi dell'Organizzazione allocati.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Produzione Vegetazione SIS	Produzione Daku Roof Soil_1	Produzione di Daku Plus-I	Produzione Daku Stabilfilter SFI	Produzione Daku FSD 20	Produzione DAKU PRO +CONTROLLER	Produzione impianto di irrigazione	Fornitura di Energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
GWP _{total}	kg CO2 eq.	9,32E+00	9,34E-02	1,61E+00	1,60E-01	6,42E-01	4,33E+00	2,39E-01	2,62E-01	8,53E-02	1,11E-01	1,79E+00
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	9,27E+00	8,87E-02	1,60E+00	1,58E-01	6,42E-01	4,33E+00	2,34E-01	2,62E-01	7,48E-02	1,10E-01	1,78E+00
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	4,61E-02	4,56E-03	8,66E-03	1,73E-03	3,63E-04	1,82E-03	5,03E-03	0,00E+00	1,06E-02	2,57E-04	1,31E-02
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	1,76E-03	8,66E-05	6,16E-04	1,82E-04	8,47E-06	4,24E-05	8,12E-05	0,00E+00	1,24E-05	9,12E-06	7,21E-04
ODP	kg CFC-11 eq.	5,97E-07	4,93E-09	2,17E-07	8,95E-09	4,38E-08	2,25E-09	2,71E-08	0,00E+00	8,62E-09	9,42E-09	2,75E-07
AP	mol H+ eq.	4,69E-02	3,76E-03	1,10E-02	1,15E-03	2,87E-03	1,61E-02	1,19E-03	1,16E-03	6,58E-04	1,16E-04	8,83E-03
EP _{fresh_water}	kg P eq.	8,69E-04	3,58E-05	1,85E-04	5,95E-05	3,48E-06	1,69E-04	4,29E-06	4,82E-08	2,28E-05	3,89E-06	3,85E-04
EP _{marine}	kg N eq.	3,17E-04	2,55E-04	1,59E-05	3,26E-06	4,59E-06	8,26E-06	2,59E-06	1,10E-07	1,67E-06	3,77E-07	2,48E-05
EP _{terrestrial}	mol N eq.	1,12E-01	1,62E-02	3,08E-02	2,68E-03	4,41E-03	2,64E-02	1,60E-03	1,93E-03	1,69E-03	2,04E-04	2,62E-02
POCP	kg NMVOC eq.	3,44E-02	3,81E-04	9,14E-03	4,23E-04	1,70E-03	1,37E-02	4,55E-04	6,00E-04	1,62E-04	9,67E-05	7,79E-03
ADPE	kg Sb eq.	2,90E-05	2,44E-07	2,99E-06	1,87E-06	1,03E-07	4,27E-07	2,79E-08	3,69E-09	1,47E-07	3,73E-08	2,31E-05
ADPF	MJ	1,94E+02	6,36E-01	3,24E+01	1,23E+00	2,13E+01	1,00E+02	2,59E+00	8,12E+00	8,69E-01	1,58E+00	2,48E+01

Tabella 88 - Impatti ambientali della fase di produzione (moduli aggregati A1-A3) di 1 mq di SIS

Dai risultati riportati nella precedente tabella e rappresentati in Figura 28, si evince che nella fase A1-A3 del SIS i processi più impattanti sono i seguenti:

- produzione della vegetazione (in blu chiaro);
- produzione del substrato DAKU ROOF SOIL 1 (in arancione);
- produzione del pannello in polistirolo DAKU FSD 20 (in celeste);
- flotta di automezzi aziendale a gasolio (in giallo scuro).

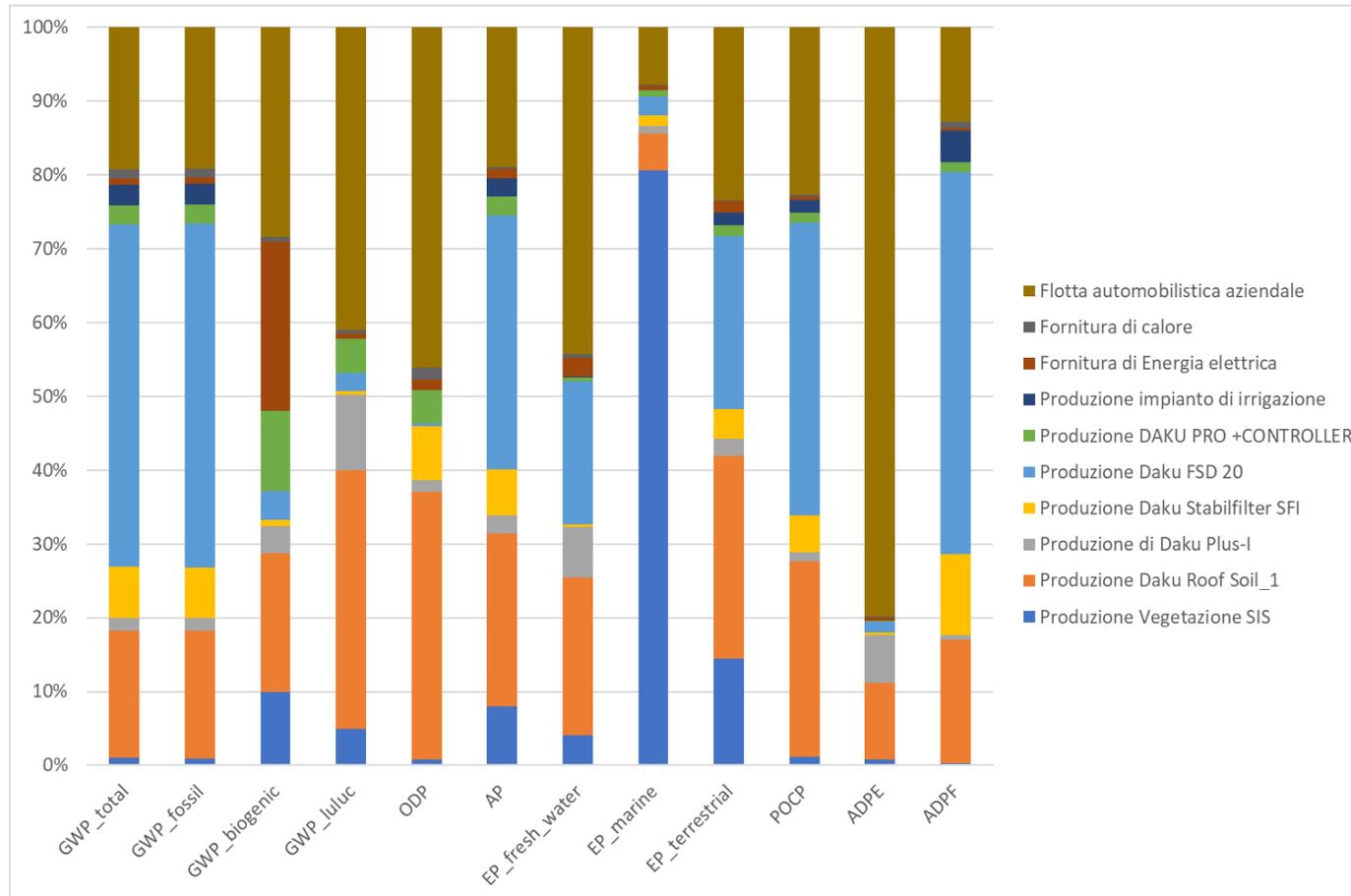


Figura 28 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di produzione (moduli aggregati A1-A3) di 1 mq di SIS

La **produzione della vegetazione** (semi per prato ed arbusti) è il processo più impattante per la categoria eutrofizzazione delle acque marine (EP_marine – 81%).

La **produzione del substrato** è il processo più impattante per la categoria eutrofizzazione del suolo (EP_terrestrial – 27%).

La **produzione del pannello in polistirolo DAKU FSD-20** è il processo più impattante per le seguenti categorie ambientali: acidificazione (AP - 34%), riscaldamento globale (GWP_total - 46%), ossidazione fotochimica (POCP - 40%), impoverimento abiotico delle fonti fossili (ADPF - 52%).

La **flotta automobilistica aziendale** è il processo più impattante per le seguenti categorie ambientali: eutrofizzazione delle acque dolci (EP_fresh_water - 44%), impoverimento abiotico (ADPE - 80%) e distruzione dell'Ozono stratosferico (ODP - 46%).

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** in ogni processo del modulo aggregato A1-A3 di 1 mq di SIS.

Risorse	Unità di misura	Totale	Produzione Vegetazione SIS	Produzione Daku Roof Soil_1	Produzione di Daku Plus-I	Produzione Daku Stabil-filter SFI	Produzione Daku FSD 20	Produzione DAKU PRO +CONTROLLER	Produzione impianto di irrigazione	Fornitura di Energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
PERE	MJ	3,88E+00	8,05E-01	5,69E-01	7,29E-02	2,22E-01	5,61E-01	4,77E-01	1,28E-01	3,84E-01	9,38E-03	6,54E-01
PERM	MJ	2,42E-01	8,50E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,57E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	4,13E+00	8,90E-01	5,69E-01	7,29E-02	2,22E-01	5,61E-01	6,34E-01	1,28E-01	3,84E-01	9,38E-03	6,54E-01
PENRE	MJ	1,07E+02	7,29E-01	2,35E+01	1,40E+00	7,45E+00	3,69E+01	3,53E+00	2,96E+00	1,17E+00	1,78E+00	2,72E+01
PENRM	MJ	1,00E+02	0,00E+00	1,18E+01	0,00E+00	1,55E+01	6,72E+01	0,00E+00	5,56E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	2,07E+02	7,29E-01	3,53E+01	1,40E+00	2,29E+01	1,04E+02	3,53E+00	8,51E+00	1,17E+00	1,78E+00	2,72E+01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	1,19E+01	5,51E-03	3,23E+00	8,56E-02	-5,65E-02	8,39E+00	-3,22E-02	0,00E+00	5,61E-02	9,94E-04	2,11E-01

Tabella 89 - Uso delle risorse nella fase di produzione dei componenti (moduli A1-A3) di 1 mq di SIS

In totale nella fase di produzione dei componenti di 1 mq di SIS (moduli A1-A3) vengono consumati:

- 211 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 11,9 mc/mq di acqua (FW).

Il 98% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT) ed il restante 2% di tipo rinnovabile (PERT).

Il processo di **produzione del pannello DAKU FSD-20** risulta essere:

- il più energivoro in termini assoluti (50%), con un consumo pari a 105 MJ/mq di energia primaria totale (PERT+PENRT);
- quello col maggior uso idrico in assoluto (71%), con un consumo pari a 8,4 mc/mq di acqua (FW).

Nella seguente tabella si riportano gli **output** relativi al modulo aggregato A1-A3 di 1 mq di SIS.

Output	Unità di misura	Totale	Produzione Vegetazione SIS	Produzione Daku Roof Soil_1	Produzione di Daku Plus-I	Produzione Daku Stabil-filter SFI	Produzione Daku FSD 20	Produzione DAKU PRO +CONTROLLER	Produzione impianto di irrigazione	Fornitura di Energia elettrica	Fornitura di calore	Flotta automobilistica aziendale
HWD	kg	6,28E-01	0,00E+00	1,18E-03	0,00E+00	1,51E-03	5,96E-01	2,68E-02	1,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	1,10E-02	0,00E+00	8,07E-04	0,00E+00	1,03E-03	6,40E-03	4,77E-04	2,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	1,28E-03	0,00E+00	4,17E-04	0,00E+00	5,34E-04	0,00E+00	3,25E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	1,69E+00	0,00E+00	5,54E-01	0,00E+00	7,10E-01	5,26E-02	3,77E-01	1,34E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	1,06E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,90E-06	0,00E+00	1,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	3,57E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,24E-03	0,00E+00	3,25E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 90 - Output nella fase di produzione (moduli A1-A3) dei componenti la realizzazione di 1 mq di SIS

In totale nel modulo A1-A3 di 1 mq di SIS vengono prodotti 2,34 kg/mq di output.

Il 72% degli output in termini massivi è costituito da materiale per il riuso (CRU), composto principalmente da “Overburden”, roccia e suolo che si trovano al disopra di un giacimento facente parte del materiale che deve essere rimosso e scartato dalla lavorazione, riutilizzabile per la ri-coltivazione di altri giacimenti.

5.2.2.2. *Transport to the building site (A4)*

Il trasporto in cantiere (modulo A4) dei componenti di 1 mq di SES viene effettuato in n. 9 spedizioni.

Tutti i trasporti sono stati modellizzati con lo stesso dataset, relativo ad un autotreno a gasolio Euro 6 da 32 tonnellate, di conseguenza gli impatti ambientali, le risorse utilizzate e gli output sono direttamente proporzionali al prodotto (misurato in tkm) tra la distanza percorsa e la massa trasportata.

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** per singolo trasporto.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	#1 - Semi per prato	#2 - Arbu- sto	#3 - Daku Compost	#4 - Daku Roof Soil 1	#5 - Daku Plus-I	#6 - Daku Stabifilter SFI	#7 - Daku Pro + Con- troller	#8 - Daku FSD-20 + accessori	#9 - Im- pianto di irriga- zione
GWP _{total}	kg CO2 eq.	3,86E+00	1,34E-03	5,02E-04	9,85E-02	3,74E+00	1,27E-03	2,37E-03	1,70E-03	1,05E-02	1,69E-03
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	3,82E+00	1,33E-03	4,97E-04	9,76E-02	3,71E+00	1,26E-03	2,35E-03	1,68E-03	1,04E-02	1,67E-03
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	3,27E-02	9,30E-06	4,26E-06	8,36E-04	3,17E-02	1,08E-05	2,01E-05	1,44E-05	8,87E-05	1,43E-05
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	8,51E-04	3,63E-07	1,11E-07	2,17E-05	8,25E-04	2,79E-07	5,23E-07	3,74E-07	2,31E-06	3,73E-07
ODP	kg CFC-11 eq.	7,86E-07	2,63E-10	1,02E-10	2,01E-08	7,62E-07	2,58E-10	4,84E-10	3,46E-10	2,13E-09	3,44E-10
AP	mol H+ eq.	1,20E-02	4,34E-06	1,56E-06	3,06E-04	1,16E-02	3,93E-06	7,36E-06	5,26E-06	3,24E-05	5,24E-06
EP _{fresh_water}	kg P eq.	2,58E-04	1,04E-07	3,36E-08	6,59E-06	2,50E-04	8,48E-08	1,59E-07	1,13E-07	6,99E-07	1,13E-07
EP _{marine}	kg N eq.	2,22E-05	8,28E-09	2,89E-09	5,66E-07	2,15E-05	7,29E-09	1,36E-08	9,75E-09	6,01E-08	9,72E-09
EP _{terrestrial}	mol N eq.	2,82E-02	9,94E-06	3,67E-06	7,21E-04	2,74E-02	9,27E-06	1,74E-05	1,24E-05	7,65E-05	1,24E-05
POCP	kg NMVOC eq.	1,09E-02	3,83E-06	1,42E-06	2,79E-04	1,06E-02	3,59E-06	6,72E-06	4,80E-06	2,96E-05	4,79E-06
ADPE	kg Sb eq.	7,78E-06	2,61E-09	1,01E-09	1,99E-07	7,55E-06	2,56E-09	4,79E-09	3,42E-09	2,11E-08	3,41E-09
ADPF	MJ	6,27E+01	2,15E-02	8,16E-03	1,60E+00	6,08E+01	2,06E-02	3,85E-02	2,76E-02	1,70E-01	2,75E-02

Tabella 91 - Impatti ambientali nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SIS

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per singolo trasporto.

Risorse	Unità di misura	Totale	#1 - Semi per prato	#2 - Arbutto	#3 - Daku Compost	#4 - Daku Roof Soil 1	#5 - Daku Plus-I	#6 - Daku Stabifilter SFI	#7 - Daku Pro + Controller	#8 - Daku FSD-20 + accessori	#9 - Impianto di irrigazione
PERE	MJ	1,13E+00	3,16E-04	1,47E-04	2,89E-02	1,10E+00	3,72E-04	6,96E-04	4,98E-04	3,07E-03	4,96E-04
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,13E+00	3,16E-04	1,47E-04	2,89E-02	1,10E+00	3,72E-04	6,96E-04	4,98E-04	3,07E-03	4,96E-04
PENRE	MJ	6,85E+01	2,32E-02	8,92E-03	1,75E+00	6,65E+01	2,25E-02	4,22E-02	3,01E-02	1,86E-01	3,00E-02
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	6,85E+01	2,32E-02	8,92E-03	1,75E+00	6,65E+01	2,25E-02	4,22E-02	3,01E-02	1,86E-01	3,00E-02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	2,53E-01	1,41E-04	3,29E-05	6,46E-03	2,45E-01	8,31E-05	1,56E-04	1,11E-04	6,86E-04	1,11E-04

Tabella 92 - Uso delle risorse nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SIS

Il **trasporto del substrato DAKU ROOF SOIL 1** (#4 in Tabella 91 e Tabella 92 - in giallo in Figura 29) è quello col maggior impatto ambientale e maggior uso delle risorse in assoluto, in quanto il substrato è il componente con il maggior peso in assoluto nel bilancio di massa di 1 mq di SIS.

Le risorse utilizzate per il trasporto in cantiere di 1 mq di SIS sono:

- 69,7 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 98% non rinnovabile (PENRT);
- 0,253 mc/mq di acqua (FW).

Il processo di trasporto non ha alcun **output**.

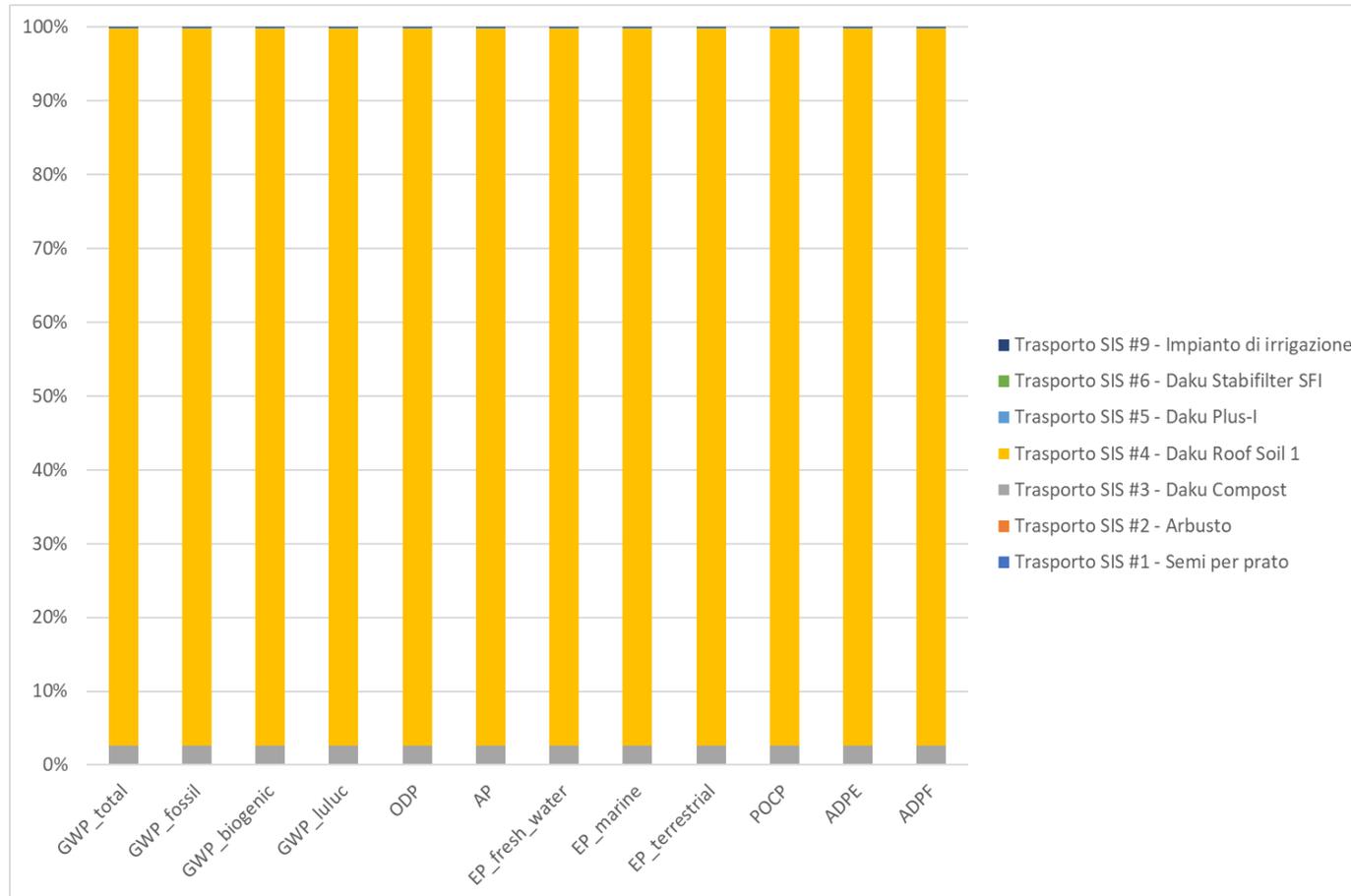


Figura 29 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di trasporto in cantiere (modulo A4) di 1 mq di SIS

5.2.2.3. Installation into the building (A5)

L'unico processo incluso nel presente modulo è l'utilizzo della **gru elettrica** per il sollevamento in copertura di 1 mq di SIS. Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali**.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
GWP_{total}	kg CO2 eq.	9,85E-03	9,85E-03
GWP_{fossil}	kg CO2 eq.	8,63E-03	8,63E-03
$GWP_{biogenic}$	kg CO2 eq.	1,22E-03	1,22E-03
GWP_{luluc}	kg CO2 eq.	1,44E-06	1,44E-06
ODP	kg CFC-11 eq.	9,95E-10	9,95E-10
AP	mol H+ eq.	7,59E-05	7,59E-05
EP_{fresh_water}	kg P eq.	2,63E-06	2,63E-06
EP_{marine}	kg N eq.	1,93E-07	1,93E-07
$EP_{terrestrial}$	mol N eq.	1,95E-04	1,95E-04
POCP	kg NMVOC eq.	1,87E-05	1,87E-05
ADPE	kg Sb eq.	1,69E-08	1,69E-08
ADPF	MJ	1,00E-01	1,00E-01

Tabella 93 - Impatti ambientali della fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SIS

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per la fase di installazione di 1 mq di SIS.

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PERE	MJ	4,44E-02	4,44E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	4,44E-02	4,44E-02
PENRE	MJ	1,36E-01	1,36E-01

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,36E-01	1,36E-01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	6,47E-03	6,47E-03

Tabella 94 - Uso delle risorse della fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SIS

Le **risorse** utilizzate per l'installazione di 1 mq di SIS sono:

- 0,18 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 0,006 mc/mq di acqua (FW).

Nella seguente tabella si riportano gli **output** della fase di installazione di 1 mq di SIS.

Output	Unità di misura	Totale	Packaging PRATO IN SEMI	Packaging ROOF SOIL 1	Packaging FSD-20	Packaging STABILIZER SFI	Packaging PRO+CONTROLLER
HWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	2,62E-01	5,00E-03	2,03E-01	3,75E-02	7,50E-03	9,21E-03
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 95 - Output nella fase di installazione (modulo A5) di 1 mq di SIS

L'unico output nella fase di installazione sono i materiali del **packaging**, inviati al centro di trattamento rifiuti municipale per il riciclo (MFR), con una massa totale pari a 0,262 kg/mq.

5.2.2.4. Use (B1)

L'unico processo incluso nel presente modulo è la **cattura di CO2** da parte della vegetazione durante la vita utile del SIS, pari a 50 anni.

Per il presente modulo si considerano soltanto gli impatti ambientali (negativi), in quanto l'uso delle risorse energetiche e idriche dev'essere analizzato nei moduli B5 e B6 esclusi dalla presente analisi. Di seguito i risultati:

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	CO2 catturata dallavegetazione
GWP_{total}	kg CO2 eq.	-1,23E+02	-1,23E+02
GWP_{fossil}	kg CO2 eq.	-1,23E+02	-1,23E+02
$GWP_{biogenic}$	kg CO2 eq.	0,00E+00	0,00E+00
GWP_{luluc}	kg CO2 eq.	0,00E+00	0,00E+00
ODP	kg CFC-11 eq.	0,00E+00	0,00E+00
AP	mol H+ eq.	0,00E+00	0,00E+00
EP_{fresh_water}	kg P eq.	0,00E+00	0,00E+00
EP_{marine}	kg N eq.	0,00E+00	0,00E+00
$EP_{terrestrial}$	mol N eq.	0,00E+00	0,00E+00
POCP	kg NMVOC eq.	0,00E+00	0,00E+00
ADPE	kg Sb eq.	0,00E+00	0,00E+00
ADPF	MJ	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 96 - Impatti ambientali della fase di uso (modulo B1) di 1 mq di SIS

In 50 anni di vita utile 1 mq di SIS cattura 123 kg/mq di anidride carbonica. Si ipotizza che la tutta la CO2 sia di origine fossile.

5.2.2.5. Deconstruction, demolition (C1)

L'unico processo incluso nel presente modulo è l'utilizzo della **gru elettrica**, analogamente alla fase di installazione (modulo A5).

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** prodotti per lo smontaggio di 1 mq di SIS.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
GWP _{total}	kg CO2 eq.	9,85E-03	9,85E-03
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	8,63E-03	8,63E-03
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	1,22E-03	1,22E-03
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	1,44E-06	1,44E-06
ODP	kg CFC-11 eq.	9,95E-10	9,95E-10
AP	mol H+ eq.	7,59E-05	7,59E-05
EP _{fresh_water}	kg P eq.	2,63E-06	2,63E-06
EP _{marine}	kg N eq.	1,93E-07	1,93E-07
EP _{terrestrial}	mol N eq.	1,95E-04	1,95E-04
POCP	kg NMVOC eq.	1,87E-05	1,87E-05
ADPE	kg Sb eq.	1,69E-08	1,69E-08
ADPF	MJ	1,00E-01	1,00E-01

Tabella 97 - Impatti ambientali della fase di smontaggio (modulo C1) di 1 mq di SIS

Nella seguente tabella si riportano le **risorse utilizzate** per lo smontaggio di 1 mq di SIS.

Risorse	Unità di misura	Totale	Gru elettrica
PERE	MJ	4,44E-02	4,44E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	4,44E-02	4,44E-02
PENRE	MJ	1,36E-01	1,36E-01
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,36E-01	1,36E-01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	6,47E-03	6,47E-03

Tabella 98 - Uso delle risorse relativo alla fase di smontaggio (modulo C1) di 1 mq di SIS

Le risorse utilizzate per lo smontaggio di 1 mq di SIS sono:

- 0,18 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 0,006 mc/mq di acqua (FW);
- analoghe a quelle utilizzate in fase di installazione (modulo A5).

In questo modulo non ci sono **output**.

5.2.2.6. Trasport (C2)

Nelle seguenti tabelle si riportano gli **impatti ambientali** e l'uso delle **risorse**, relativi al trasporto a fine vita di 1 mq di SIS dal sito di installazione al centro di smaltimento distante 30 km.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
GWP _{total}	kg CO2 eq.	3,39E-01	3,39E-01
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	3,36E-01	3,36E-01
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	2,88E-03	2,88E-03
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	7,48E-05	7,48E-05
ODP	kg CFC-11 eq.	6,92E-08	6,92E-08
AP	mol H+ eq.	1,05E-03	1,05E-03
EP _{fresh_water}	kg P eq.	2,27E-05	2,27E-05
EP _{marine}	kg N eq.	1,95E-06	1,95E-06
EP _{terrestrial}	mol N eq.	2,48E-03	2,48E-03
POCP	kg NMVOC eq.	9,61E-04	9,61E-04
ADPE	kg Sb eq.	6,85E-07	6,85E-07
ADPF	MJ	5,51E+00	5,51E+00

Tabella 99 - Impatti ambientali relativi alla fase di trasporto a fine vita (modulo C2) di 1 mq di SIS

Risorse	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
PERE	MJ	9,96E-02	9,96E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	9,96E-02	9,96E-02
PENRE	MJ	6,03E+00	6,03E+00
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00

Risorse	Unità di misura	Totale	Trasporto a fine vita
PENRT	MJ	6,03E+00	6,03E+00
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	2,23E-02	2,23E-02

Tabella 100 - Uso delle risorse relativi alla fase di trasporto a fine vita (modulo C2) di 1 mq di SIS

Le risorse utilizzate per lo smontaggio di 1 mq di SIS sono:

- 6,13 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT), di cui il 98% non rinnovabile (PENRT);
- 0,022 mc/mq di acqua (FW).

In questo modulo non ci sono **output**.

5.2.2.7. Waste processing (C3)

Nella seguente tabella si riportano gli **impatti ambientali** dei processi relativi al trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SIS.

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Riciclaggio materie plastiche	Riciclaggio alluminio	Com-postaggio
GWP _{total}	kg CO2 eq.	5,42E-01	4,66E-01	2,89E-02	4,72E-02
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	5,34E-01	4,59E-01	2,80E-02	4,68E-02
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	7,77E-03	6,51E-03	8,92E-04	3,71E-04
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	3,70E-04	3,37E-04	1,32E-05	1,99E-05
ODP	kg CFC-11 eq.	4,27E-08	3,31E-08	1,70E-09	7,90E-09
AP	mol H+ eq.	2,05E-03	1,65E-03	1,12E-04	2,93E-04
EP _{fresh_water}	kg P eq.	9,70E-05	8,03E-05	1,09E-05	5,76E-06

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Riciclaggio materie plastiche	Riciclaggio alluminio	Com-postaggio
EP _{marine}	kg N eq.	3,27E-05	3,16E-05	6,72E-07	4,04E-07
EP _{terrestrial}	mol N eq.	5,99E-03	4,66E-03	2,20E-04	1,11E-03
POCP	kg NMVOC eq.	1,82E-03	1,45E-03	5,81E-05	3,06E-04
ADPE	kg Sb eq.	1,60E-06	1,31E-06	1,71E-07	1,22E-07
ADPF	MJ	5,97E+00	5,11E+00	1,83E-01	6,80E-01

Tabella 101 - Impatti ambientali relativi al trattamento a fase vita (modulo C3) di 1 mq di SIS

Dai risultati riportati nella precedente tabella e figura si evince che nel modulo C3 il processo più impattante in termini assoluti, per ogni categoria ambientale, è il **riciclaggio delle materie plastiche**, vale a dire il trattamento a fine vita dei seguenti elementi:

- pannello DAKU FSD-20
- filtro DAKU STABIFILTER SFE
- impianto di irrigazione.

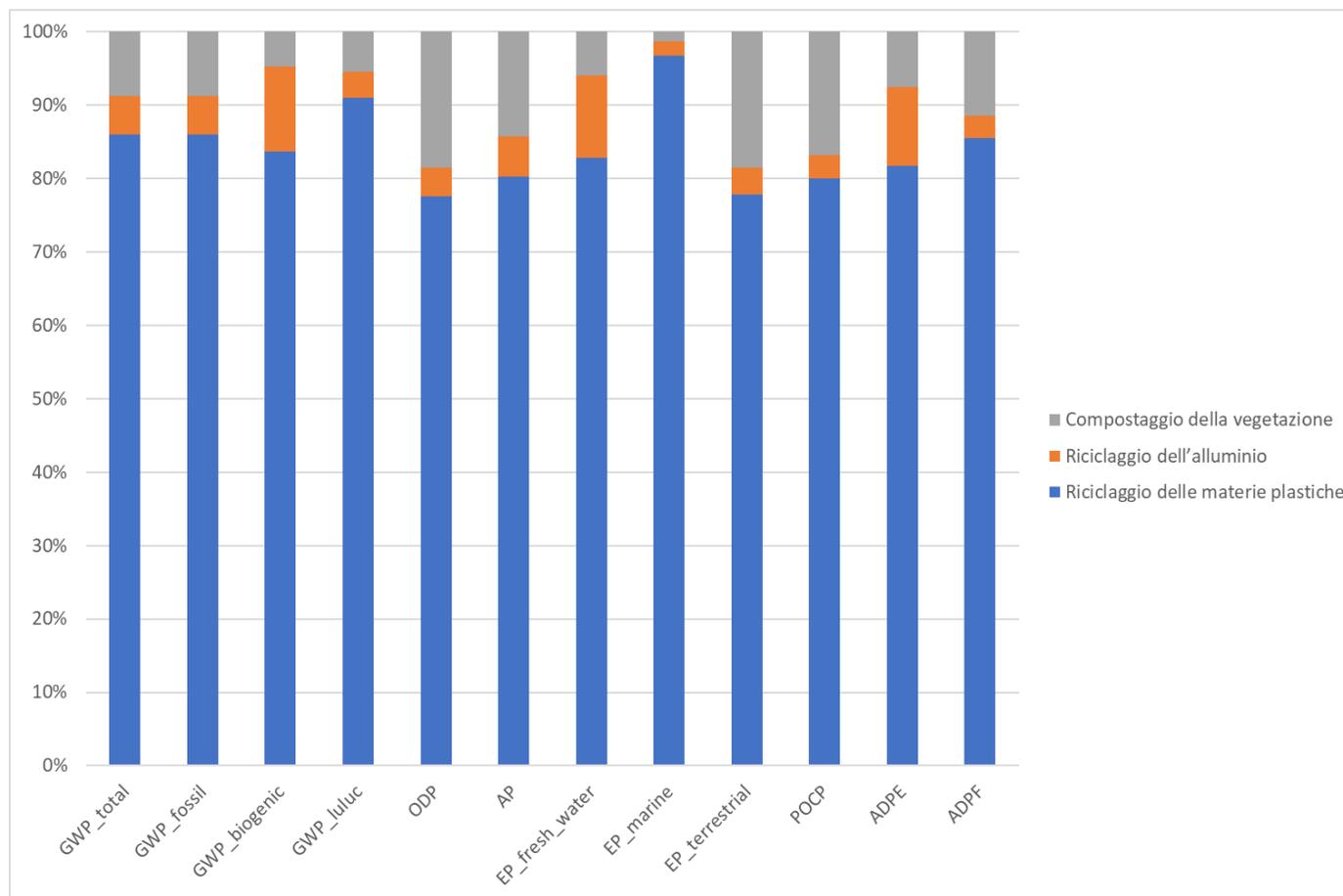


Figura 30 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SIS

Nella seguente tabella si riporta l'uso delle **risorse** per ogni processo relativo alla fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SIS.

Parametro	Unità di misura	Totale	Riciclaggio materie plastiche	Riciclaggio alluminio	Compostaggio
PERE	MJ	3,02E-01	2,65E-01	2,21E-02	1,48E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	3,02E-01	2,65E-01	2,21E-02	1,48E-02
PENRE	MJ	6,94E+00	5,97E+00	2,28E-01	7,43E-01
PENRM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	6,94E+00	5,97E+00	2,28E-01	7,43E-01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	1,03E-01	9,54E-02	2,94E-03	5,00E-03

Tabella 102 - Uso delle risorse nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SES

In totale nella fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SES (modulo C3) vengono consumati:

- 7,2 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 0,103 mc/mq di acqua (FW).

Il 96% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT).

Il **riciclaggio delle materie plastiche** è il processo con maggior consumo in assoluto di energia primaria e acqua.

Nella seguente tabella si riportano gli **output** nella fase di trattamento a fine vita dei componenti di 1 mq di SIS (modulo C3).

Output	Unità di misura	Totale	Plastica riciclata	Alluminio riciclato	Compost	Substrato
HWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	1,50E+02	1,55E+00	9,21E-02	1,50E+01	1,33E+02
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 103 - Output nella fase di trattamento a fine vita (modulo C3) di 1 mq di SIS

Gli output dai confini del sistema nel presente modulo sono tutti materiali per il ri-uso (CRU), e sono:

- plastica e alluminio riciclato;
- compost ottenuto dal compostaggio della vegetazione;
- substrato riutilizzabile tal quale.

5.2.2.8. Disposal (C4)

Tutti i materiali risultano riciclabili e/o riutilizzabili, perciò **nessun processo** è stato considerato nel presente modulo.

5.2.2.9. Reuse, recovery, recycling, potential (D)

Nella seguente tabella si riportano i potenziali **impatti ambientali evitati** nella fase di riuso, recupero e riciclo a fine vita dei componenti di 1 mq di SIS (modulo D).

Impatto ambientale	Unità di misura	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di granuli di PE	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
GWP _{total}	kg CO2 eq.	-7,01E+00	-8,90E-01	-5,53E-01	-4,21E+00	-2,02E-01	-1,11E+00	-4,72E-02
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	-6,98E+00	-8,64E-01	-5,50E-01	-4,21E+00	-2,02E-01	-1,10E+00	-4,68E-02
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	-2,11E-02	-9,24E-03	-2,97E-03	0,00E+00	0,00E+00	-8,52E-03	-3,71E-04
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	-1,71E-02	-1,65E-02	-9,86E-06	0,00E+00	0,00E+00	-6,09E-04	-1,99E-05
ODP	kg CFC-11 eq.	-2,51E-07	-5,92E-08	-3,69E-09	0,00E+00	0,00E+00	-1,80E-07	-7,90E-09
AP	mol H+ eq.	-3,43E-02	-6,79E-03	-2,09E-03	-1,56E-02	-7,81E-04	-8,71E-03	-2,93E-04
EP _{fresh_water}	kg P eq.	-7,77E-04	-4,13E-04	-1,95E-05	-1,56E-04	-7,46E-08	-1,83E-04	-5,76E-06
EP _{marine}	kg N eq.	-5,82E-05	-3,53E-05	-2,85E-06	-7,12E-06	-1,25E-07	-1,23E-05	-4,04E-07
EP _{terrestrial}	mol N eq.	-6,72E-02	-8,01E-03	-4,20E-03	-2,54E-02	-1,39E-03	-2,71E-02	-1,11E-03
POCP	kg NMVOC eq.	-2,65E-02	-2,29E-03	-2,05E-03	-1,32E-02	-8,64E-04	-7,76E-03	-3,06E-04
ADPE	kg Sb eq.	-4,28E-06	-8,52E-07	-6,54E-08	-3,75E-07	-2,17E-09	-2,87E-06	-1,22E-07
ADPF	MJ	-1,46E+02	-7,81E+00	-1,73E+01	-9,75E+01	-6,90E+00	-1,60E+01	-6,80E-01

Tabella 104 - Impatti ambientali evitati nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SIS

Il beneficio associato alla produzione dei semi-lavorati di alluminio e plastica (PP, PS e PE) annulla gran parte degli impatti ambientali relativi alla produzione dei rispettivi componenti (modulo A1-A3), mentre nel caso di substrato il riuso equivale ad un annullamento del 100% degli impatti ambientali.

Dai risultati ottenuti, riportati in Tabella 104 e rappresentati graficamente in Figura 31, si evince che nel modulo D, relativo ad 1 mq di SIS, il **riciclo dell'alluminio** (DAKU PRO e CONTROLLER), il **riciclo del polistirolo** (DAKU FSD 20) ed il **riuso del substrato** (DAKU ROOF SOIL 1) sono i processi con maggiori benefici ambientali

Nello specifico:

- la produzione evitata di granuli di PS (in grigio nella seguente figura) ha il maggior beneficio ambientale nelle seguenti categorie: acidificazione degli oceani (AP - 46%), riscaldamento globale (GWP_{total} - 60%), ossidazione fotochimica (POCP - 50%) e impoverimento abiotico delle risorse fossili (ADPF - 67%).

- la produzione evitata di lingotti in alluminio (in blu nella seguente figura) ha il maggior beneficio ambientale in assoluto nella categoria eutrofizzazione delle acque dolci (EP_fresh_water - 53%) e marine (EP_marine - 61%).
- la produzione evitata di substrato (in celeste nella seguente figura) ha il maggior beneficio ambientale nelle seguenti categorie: distruzione dell'Ozono (ODP - 72%), eutrofizzazione terrestre (EP_terrestrial - 40%) e impoverimento abiotico delle risorse (ADPE - 67%).

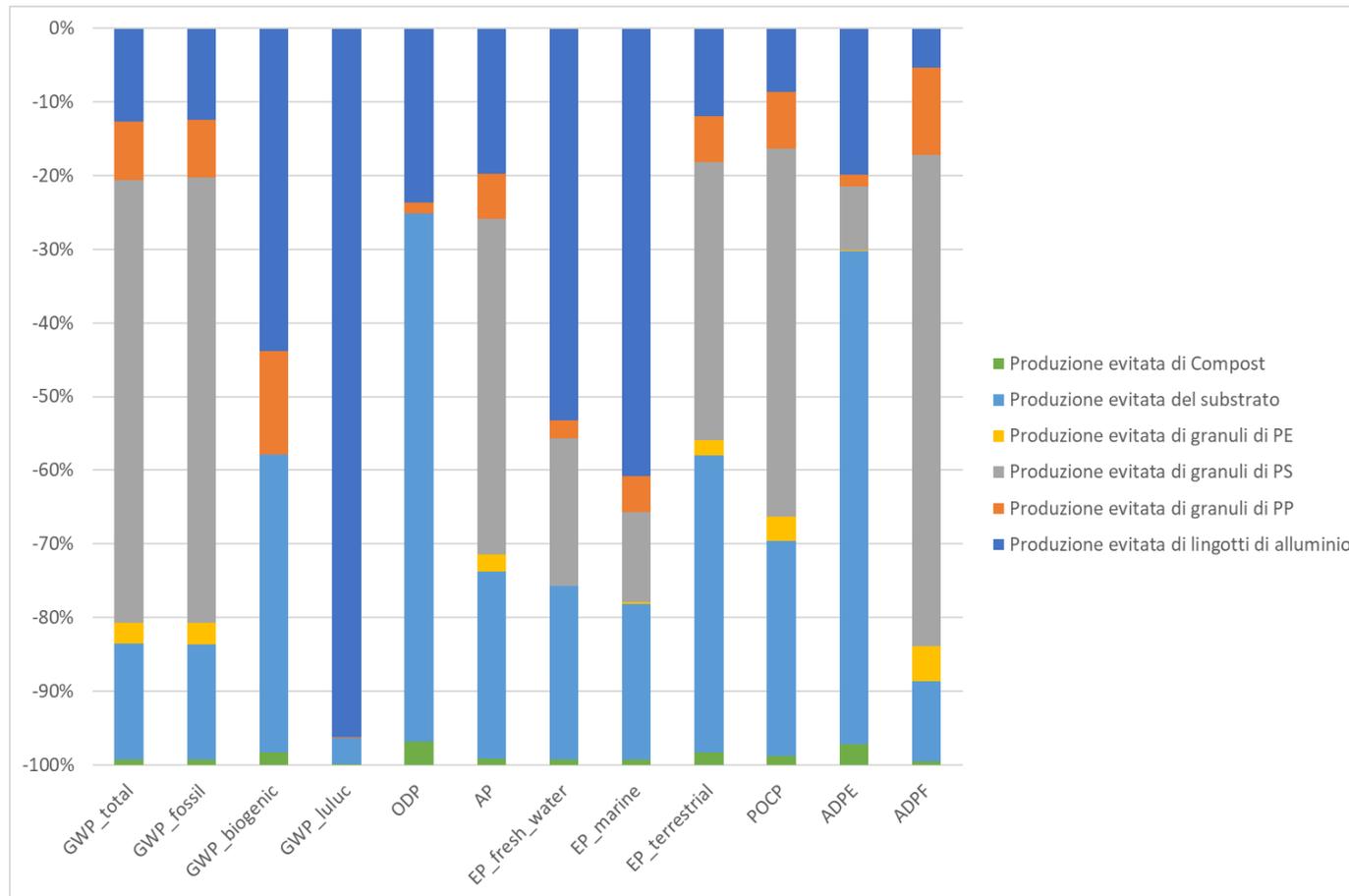


Figura 31 - Rappresentazione grafica della ripartizione % degli impatti ambientali evitati nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SIS

Nella seguente tabella si riporta l'uso evitato di risorse per ogni processo della fase di riciclo/riuso di 1 mq di SIS.

Parametro	Unità di misura	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di granuli di PE	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
PERE	MJ	-5,00E+00	-3,96E+00	-1,12E-01	-4,34E-01	-7,46E-02	-4,09E-01	-1,48E-02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	-5,00E+00	-3,96E+00	-1,12E-01	-4,34E-01	-7,46E-02	-4,09E-01	-1,48E-02
PENRE	MJ	-6,75E+01	-1,03E+01	-1,62E+00	-3,56E+01	-1,67E+00	-1,76E+01	-7,43E-01
PENRM	MJ	-8,58E+01	0,00E+00	-1,51E+01	-6,52E+01	-5,56E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	-1,53E+02	-1,03E+01	-1,67E+01	-1,01E+02	-7,22E+00	-1,76E+01	-7,43E-01
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	mc	-1,22E+01	-3,35E-01	-1,44E-01	-8,33E+00	-8,22E-02	-3,28E+00	-5,00E-03

Tabella 105 – Evitato uso delle risorse nella fase di riuso/riciclo a fine di vita (modulo D) di 1 mq di SIS

In totale nella fase di riuso/riciclo dei componenti di 1 mq di SES (modulo D) si evita il consumo di:

- 158 MJ/mq di energia primaria (PERT+PENRT);
- 12,2 mc/mq di acqua (FW).

Il 97% dell'energia primaria totale è di tipo non rinnovabile (PENRT).

I processi con maggior benefici, in termini di uso di risorse evitato, sono la produzione evitata di lingotti di alluminio, grazie al **riciclaggio dei componenti in alluminio DAKU PRO e DAKU CONTROLLER**, e la produzione evitata di granuli di PS, grazie al **riciclaggio del pannello in polistirolo DAKU FSD-20**.

Nella seguente tabella si riportano gli **output** relativi al modulo D di 1 mq di SIS.

Categoria	Unità	Totale	Produzione evitata di lingotti di alluminio	Produzione evitata di granuli di PP	Produzione evitata di granuli di PS	Produzione evitata di granuli di PE	Produzione evitata del substrato	Produzione evitata di Compost
HWD	kg	-5,97E-01	0,00E+00	0,00E+00	-5,96E-01	-2,99E-04	0,00E+00	0,00E+00
NHWD	kg	-6,48E-03	0,00E+00	0,00E+00	-6,40E-03	-7,27E-05	0,00E+00	0,00E+00
RWD	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CRU	kg	-5,46E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,26E-02	-2,02E-03	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	-1,91E-06	0,00E+00	0,00E+00	-1,90E-06	-7,99E-10	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	-3,37E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,33E-04	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EET	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 106 - Output evitati nella fase di riuso/riciclo (modulo D) di 1 mq di SIS

In totale nella fase di riuso/riciclo dei componenti di 1 mq di SIS vengono evitati 0,661 kg/mq di output.

I dataset con rifiuti come output nell'inventario di Simapro, tra quelli utilizzati per la modellizzazione, sono soltanto quelli relativi alla produzione europea di granulato di polistirene (PS) e polietilene (PE), estrapolati dal database ELCD, mentre gli altri dataset presi dal database Ecoinvent non ne hanno.

6. Interpretazione

Nel presente paragrafo si analizzano i risultati ottenuti dall'analisi LCA dei sistemi standard di Daku.

6.1. Interpretazione dei risultati

6.1.1. Impatto ambientale

La **fase upstream** (modulo A1-A3), relativa alla costruzione dei componenti ed ai consumi energetici presso le sedi dell'Organizzazione, risulta essere per entrambi i sistemi (SIS e SES) la più impattante in termini assoluti (dal 50 al 85%) per le seguenti categorie ambientali: acidificazione degli oceani (**AP**); eutrofizzazione (**EP**) delle acque dolci, marine e del suolo; riscaldamento globale (**GWP**); ossidazione fotochimica (**POCP**) e impoverimento delle risorse abiotiche elementari (**ADPE**) e fossili (**ADPF**).

Il **trasporto in cantiere** (modulo A4) risulta essere il secondo modulo più impattante per le suddette categorie ambientali, con una quota che varia dal 13 al 20%.

Il 90% circa delle emissioni di gas dannosi per l'Ozono Stratosferico (**ODP**) avviene nelle fasi di **produzione upstream** (modulo A1-A3) e **trasporto in cantiere** (modulo A4) per entrambi i sistemi. Per il SES il maggior impatto si registra nella fase di produzione (49%), mentre per il SIS nella fase di trasporto in cantiere (53%).

I processi che maggiormente contribuiscono nella fase upstream (modulo A1-A3) sono la **produzione del pannello in polistirolo DAKU FSD-20**, la **flotta automobilistica aziendale** e la **produzione del substrato DAKU ROOF SOIL 1** (SIS) e **DAKU ROOF SOIL 2** (SES). La produzione del substrato risulta essere maggiormente impattante nel SIS poiché la quantità di substrato utilizzata in 1 mq è superiore rispetto a quella utilizzata nel SES.

Il **trasporto del substrato DAKU ROOF SOIL** è il più impattante per entrambi i sistemi, con una quota superiore al 90% del modulo A4.

L'installazione in cantiere (modulo A5), e le fasi a fine vita di smontaggio (modulo C1), trasporto (modulo C2) e trattamento (modulo C3) hanno impatti ambientali ridotti e minori al 10% sul totale.

Il modulo C4, relativo alla fase di smaltimento in discarica del prodotto, non ha impatti ambientali, output e utilizzo di risorse in quanto tutti i componenti dei sistemi Daku sono **riciclabili o riutilizzabili** ed escono dai confini del sistema nel modulo C3.

L'**anidride carbonica (CO2) catturata** da parte della vegetazione (modulo B1) è maggiore rispetto a quella prodotta durante le fasi upstream (moduli A1-A5) e downstream (moduli C1-C4) per entrambi i sistemi, perciò risulta un GWP complessivo negativo.

In ogni modulo del ciclo di vita entrambi i sistemi la maggior parte delle emissioni di CO2 equivalente (dal 85% al 99%) sono di origine fossile (GWP_f). Nei moduli A5 e C1, relativi all'installazione e smontaggio dei sistemi, la quota di CO2 di origine biogenica è pari al 12% grazie alle fonti rinnovabili presenti nel mix energetico della rete elettrica italiana.

I potenziali benefici ambientali derivanti dal riuso (ghiaia e substrato) e riciclo (plastica e alluminio) dei componenti dei sistemi a fine vita (modulo D) annullano gran parte degli impatti prodotti durante l'intero ciclo di vita, fino al 60% per alcune categorie ambientali.

6.1.2. Uso delle risorse

Nella **fase upstream** (modulo A1-A3) vengono utilizzate il 75-80% circa delle risorse energetiche primarie, di cui oltre il 90% di tipo non rinnovabile, ed il 97% delle risorse idriche (FW). Il **processo di produzione del pannello in polistirolo** è quello col maggior consumo in assoluto, tra quelli della fase upstream, di risorse energetiche primarie e acqua.

La fase di **trasporto in cantiere** (modulo A4) è la seconda fase in termini di uso delle risorse energetiche, con una quota pari al 15-20% circa dell'intero ciclo di vita. In questo modulo il **trasporto del substrato** è quello più incisivo.

6.1.3. Output

Gli output uscenti dai confini dell'analisi LCA sono presenti soltanto in tre fasi:

- i rifiuti prodotti in fase di produzione dei componenti (modulo A1-A3);
- il packaging riciclabile dei componenti dei sistemi standard in fase di installazione (modulo A5);
- i materiali riciclati (plastica e alluminio) ed i componenti dei sistemi standard riutilizzabili (ghiaia e substrato) a fine vita (modulo C3).

I **rifiuti** ed il **packaging riciclabile** sono inferiori ad **1 kg/mq**, mentre i materiali **riciclati** e **riutilizzabili** a fine vita sono pari a circa **100-150 kg/mq**. Il contributo maggiore nei materiali riutilizzabili è dato da **substrato** e **ghiaia**.

6.1.4. Estensivo vs Intensivo

Di seguito un riepilogo degli impatti ambientali di 1 mq dei due sistemi durante il ciclo di vita (incluso il modulo D).

Impatto ambientale	Unità di misura	Ciclo di vita di 1 mq di SES	Ciclo di vita di 1 mq di SIS	Differenza relativa
GWP _{total}	kg CO2 eq.	-5,68E+01	-1,16E+02	+104%
GWP _{fossil}	kg CO2 eq.	-5,68E+01	-1,16E+02	+104%
GWP _{biogenic}	kg CO2 eq.	4,97E-02	7,08E-02	+42%
GWP _{luluc}	kg CO2 eq.	-1,46E-02	-1,40E-02	-4%
ODP	kg CFC-11 eq.	8,54E-07	1,25E-06	+46%
AP	mol H+ eq.	1,65E-02	2,78E-02	+68%
EP _{fresh_water}	kg P eq.	2,94E-04	4,76E-04	+62%
EP _{marine}	kg N eq.	4,46E-05	3,16E-04	+608%
EP _{terrestrial}	mol N eq.	4,97E-02	8,20E-02	+65%
POCP	kg NMVOC eq.	1,58E-02	2,17E-02	+37%
ADPE	kg Sb eq.	3,02E-05	3,48E-05	+15%
ADPF	MJ	8,25E+01	1,22E+02	+48%

Tabella 107 - Impatti ambientali relativi al ciclo di vita di 1 mq dei sistemi standard Daku

Confrontando i risultati dell'analisi del ciclo di vita, riportati nella precedente tabella e nella successiva figura, si può concludere che il Sistema Intensivo Standard (SIS) ha un impatto ambientale superiore rispetto al Sistema Estensivo Standard (SES) per tutte le categorie ambientali valutate.

Per quanto riguarda il riscaldamento globale (GWP) la vegetazione del SIS (prato e arbusti) ha un potenziale di cattura della CO₂ doppio rispetto a quello del Sedum usato nel SES, di conseguenza il bilancio complessivo della CO₂ equivalente del SIS (-116 kgCO₂/mq) risulta migliore rispetto a quello del SES (-57 kgCO₂/mq).

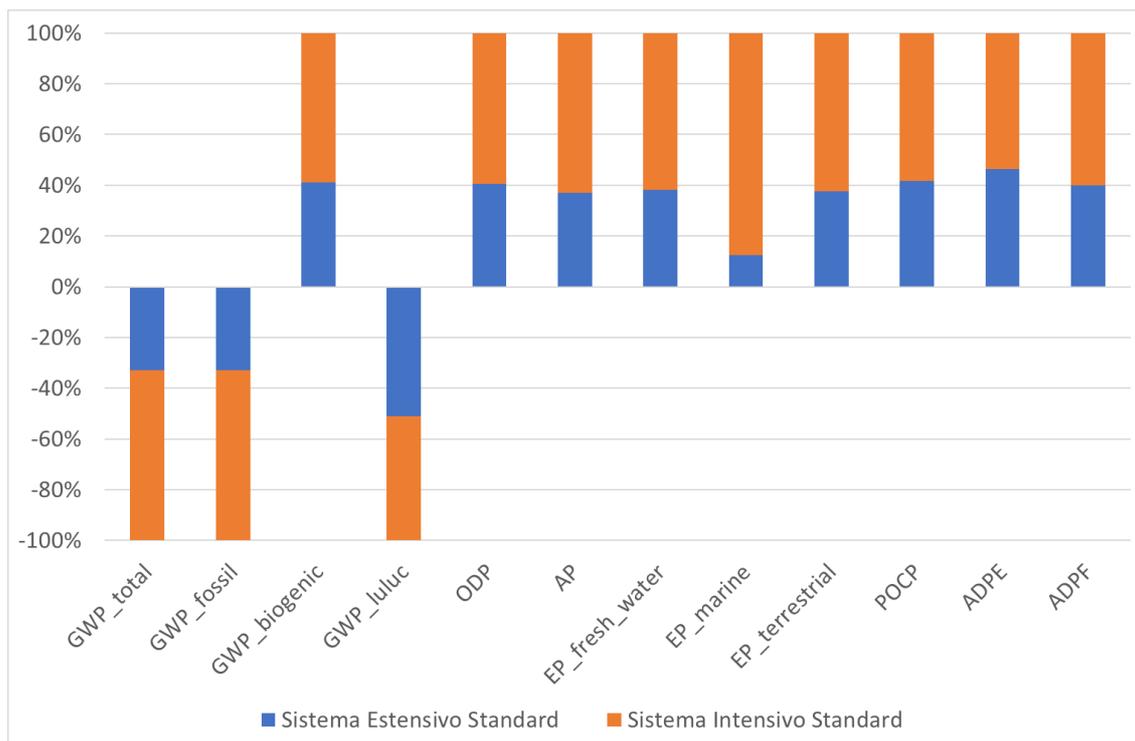


Figura 32 – Colonne in pila 100% degli impatti ambientali relativi al ciclo di vita di 1 mq dei sistemi standard Daku

Per le altre categorie ambientali (AP, EP, POCP, ODP, ADPE e ADPF) il maggior impatto ambientale del SIS rispetto al SES è dovuto principalmente alla maggior quantità di substrato ROOF SOIL impiegata.

Anche in termini di uso delle risorse (energia primaria e acqua) e output dai confini del sistema il SIS risulta superiore rispetto al SES per gli stessi motivi suddetti.

6.2. Analisi di sensibilità

Di seguito alcune considerazioni sui fattori che potrebbero alterare i risultati dell'analisi LCA.

6.2.1. Qualità dei dati

L'utilizzo di dati secondari per i processi upstream/downstream genera un elevato grado di incertezza.

Si è cercato di utilizzare dataset nella cui descrizione vi erano più informazioni dettagliate possibile, ma non sempre tutto è stato chiaro. In alcuni processi si è riscontrata l'incompletezza dei dati e la differenza di metodo utilizzata dai vari creatori dei processi e database.

In linea generale ci si è affidati alla credibilità dei database (Ecoinvent, ELCD e Industry data 2.0) contenuti nel software, i quali sono i più diffusi, utilizzati e riconosciuti nel mondo per l'analisi LCA.

Nei dataset estrapolati dal database ELCD non è inclusa la ripartizione delle emissioni di CO2 equivalente (GWP) per tipologia di fonte, e tutte le emissioni sono classificate di origine fossile (GWP_f).

In un'analisi più dettagliata sarebbe utile ed opportuno ottenere tali dati primari direttamente dal proprio fornitore di materie prime, in un'ottica di condivisione delle informazioni e di presa di coscienza del ciclo di vita di ogni processo.

La soluzione ideale sarebbe utilizzare soltanto componenti con una Dichiarazione Ambientale di Prodotto verificata da ente terzo in conformità alla ISO 14025.

6.2.2. Geo-localizzazione del cantiere

Tutti i componenti sono realizzati nel Centro-Nord Italia. Per la presente analisi si è ipotizzato un cantiere in Emilia-Romagna, ricavato sulla media ponderata dei cantieri realizzati nel 2019 (vedasi paragrafo 3.6).

Nell'ipotesi di realizzare un cantiere al Sud Italia si avrebbe:

- un incremento complessivo degli impatti ambientali del modulo A4 dovuto alla maggiore distanza percorsa da tutti i fornitori;
- che il trasporto del substrato resterebbe sempre quello più incisivo in termini assoluti.

Una soluzione potrebbe essere quella di trovare nuovi fornitori del substrato con stabilimento produttivo il più vicino possibile al cantiere, analogamente a quanto fatto per la vegetazione in rotoli (soluzione usata raramente) la ghiaia (solo nel SES).

6.2.3. Elemento di accumulo e drenaggio in PE riciclata

Il pannello in polistirolo DAKU FSD-20, derivante da petrolio, è il componente più impattante, perciò si potrebbe valutare l'utilizzo di prodotti alternativi.

Una soluzione potrebbe essere utilizzare bacini di accumulo e drenaggio modulari realizzati in polietilene (PE) riciclato ad alta densità, già presenti sul mercato, il cui utilizzo avrebbe un duplice vantaggio ambientale ed economico:

1. una riduzione degli impatti ambientali in fase di realizzazione dei componenti (modulo A1-A3) grazie all'utilizzo di granulato di plastica riciclata anziché vergine;
2. una riduzione dei costi di trasporto dei pannelli, poiché gli elementi in PE riciclato ad alta densità sono concavi, quindi risultano molto meno ingombranti rispetto agli attuali pannelli in polistirolo (PS).

Di seguito si riporta un confronto dei dataset relativi alla produzione europea di 1 kg di granulato di PE ad alta densità e di PS, derivanti entrambi da petrolio.

Entrambi i dataset sono stati estrapolati dal database ELCD e valutati in Simapro col metodo EPD (2013).



Impatto ambientale	Unità di misura	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER	Polystyrene granulate (PS)/EU-27	Differenza relativa
AP	kg SO ₂ _eq	4,27E-03	5,42E-03	-21%
EP	(kg PO ₄) ⁻³ _eq	1,20E-03	4,69E-04	155%
GWP	kg CO ₂ _eq	1,80E+00	2,26E+00	-20%
POCP	kg C ₂ H ₄ _eq	6,25E-04	4,16E-04	50%
ODP	kg CFC-11_eq	5,83E-08	1,63E-08	258%
ADPE	kg Sb_eq	2,29E-08	4,40E-07	-95%
ADPF	MJ	7,05E+01	7,47E+01	-6%

Tabella 108 - Impatti ambientali di 1 kg di granulato di PE e 1 kg di granulato di PS a confronto

L'impatto ambientale relativo alla produzione di 1 kg dei due granulati, derivanti entrambi da petrolio, è quasi sempre dello stesso ordine di grandezza, quindi paragonabile.

A parità di massa degli elementi l'utilizzo di PE riciclato permetterebbe di evitare gli impatti ambientali associati alla produzione del granulato, il semilavorato precursore del prodotto finito.

Attualmente per ogni kg di granulato di PS vengono emessi nell'aria 2,26 kg di CO₂ equivalente. Il peso totale del polistirolo contenuto nei sistemi DAKU è pari 1,185 kg/mq. Ipotizzando che l'elemento in PE riciclato abbia lo stesso peso, il suo utilizzo permetterebbe di evitare circa 2,7 kg/mq di CO₂ equivalente per la realizzazione di 1 mq di tetto verde.

7. Bibliografia

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

UNI EN ISO 14044 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida

UNI EN ISO 14025 Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III – Principi e procedure;

General Programme Instructions (GPI) for the International EPD® System (version 3.01)

PCR 2019:14 Construction products (version 1.1)

UNI EN 15804 Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto

Database Ecoinvent 3.4, ELCD 3.2 e Industry Data 2.0 utilizzati con Software di calcolo Simapro 9.0

Pro Carton. Cartone e impronta al carbonio. <https://www.procarton.com/>

Takanori Kuronuma 1, H. W. (2018). CO2 Payoff of Extensive Green Roofs with Different Vegetation Species. Sustainability

Google Maps: www.maps.google.it

Potere calorifico del cartone: <https://sito01.seieditrice.com/manuale-di-costruzioni/files/2012/01/Potere-calorifico-al-kg.pdf>

Energia nei materiali plastici: <http://ces.iisc.ernet.in/hpg/envis/plasdoc612.html>