



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

**Sardegna FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I
“RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE”
Azione 1.1.4 Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove
tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi**



Progetto cluster Top Down GA-VINO

**WP4 - Caratterizzazione della qualità ambientale dei
prodotti vitivinicoli**

Report sugli studi di LCA (*Life Cycle Assessment*)

Autori: Pierpaolo PIRINO, Enrico VAGNONI



Consiglio Nazionale
delle Ricerche
Istituto per la BioEconomia

rev.01 del 15/02/2021



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTÓNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SOMMARIO

1	Introduzione	3
2	Obiettivi e campo di applicazione	4
2.1	Unità funzionale e confini del sistema	5
2.2	Fonti dei dati per l’inventario	7
2.3	Assunzioni, allocazione e criteri di esclusione.....	7
2.4	Metodi per la valutazione degli impatti	9
3	Analisi dell’Inventario (LCI)	11
3.1	Raccolta dati	11
3.2	Aziende coinvolte	11
3.2.1	La casa di Sophia.....	13
3.2.2	Cantine Gabriele Palmas.....	16
3.2.3	Vini “virtuali”	21
	Valutazione degli impatti.....	24
3.3	Azienda “La casa di Sophia”	26
3.3.1	Vino Carignano	26
3.4	Azienda Cantine Gabriele Palmas.....	29
3.4.1	Vino Vermentino di Sardegna.....	29
3.4.2	Vino Cannonau di Sardegna	32
3.5	Aziende “virtuali”	35
3.5.1	Vino Vermentino di Sardegna “virtuale”	35
3.5.2	Vino Cannonau di Sardegna “virtuale”	38
3.6	Interpretazione dei risultati.....	42
3.7	Conclusioni	50
	Ringraziamenti.....	50
	Bibliografia.....	51

1 INTRODUZIONE

Gli studi LCA oggetto della presente relazione sono stati realizzati nell'ambito del progetto Cluster Top-Down GA-VINO.

Il **progetto GA-VINO** si propone di coniugare le possibilità offerte dalle attuali (e future, o in via di sviluppo) tecnologie di sensoristica, di comunicazione, elaborazione e utilizzo dati con avanzati e innovativi modelli di analisi e rilevazione di parametri utili per migliorare la gestione dei processi di produzione nel settore agricolo della Sardegna.

Il progetto è finanziato, per una durata di 36 mesi a partire dal 29/04/2018, nell'ambito del POR Sardegna FESR 2014/2020 – ASSE PRIORITARIO I, “RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE”, Azione 1.1.4 Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi.

Obiettivi GA-VINO:

- Coniugare le possibilità offerte dalle attuali (e future, o in via di sviluppo) tecnologie di sensoristica, di comunicazione, elaborazione, e gestione dati con avanzati e innovativi modelli di analisi e rilevazione di parametri utili per migliorare la gestione dei processi di produzioni nel settore agricolo;
- Fornire alle imprese strumenti altamente innovativi, oggettivi e di facile consultazione, che consentano alle singole aziende di conoscere nel dettaglio le condizioni ambientali del proprio vigneto e di programmare e gestire in maniera razionale e ottimale il processo produttivo;
- Incrementare la competitività nei mercati altamente remunerativi e promuovere le capacità di innovazione delle imprese coinvolte, mediante il miglioramento delle prestazioni ambientali dei processi produttivi e la valorizzazione della qualità ambientale dei prodotti.

Il progetto si sviluppa in Sardegna attraverso le seguenti modalità operative:

- Implementazione di una metodologia atta a determinare lo stato idrico della coltura e soglie di intervento;
- Implementazione hardware e software di nodi sensore (senza filo robusti, autoalimentati o con batteria a lunga durata) atti alla determinazione rapida, efficace e a basso costo dello stato idrico della coltura e delle relative soglie di intervento irriguo;
- Implementazione di un'infrastruttura cloud per la registrazione e la gestione delle informazioni e per il supporto alle decisioni del viticoltore;
- Definizione dei parametri di qualità ambientale dei prodotti (impronta ambientale).

GA-VINO è promosso dai seguenti centri di ricerca:

- Università di Sassari - Dipartimento di Agraria. Coordinatore del progetto;
- Università di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE);
- Istituto per la BioEconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR IBE);
- AGRIS Sardegna - Agenzia per la Ricerca in Agricoltura.

Inoltre, partecipano al progetto le seguenti (13) aziende viti-vinicole sparse nell'intero territorio regionale:

Azienda Vitivinicola PanzaliSandro (Usini, SS); Binza'e su Re Azienda Vitivinicola di Manca Francesco (Usini, SS); Tenute Sella e Mosca S.P.A. (Alghero, SS); Viticoltori della Romangia Soc. Coop. (Sorso, SS); Società Agricola F.Ili Sanna S.S (Berchidda, OT); G.Surrau Srl–Società Agricola (Arzachena, OT); Cantine Su'Entu Srl(Sanluri, VS); Azienda Vitivinicola Ferruccio Deiana (Settimo San Pietro, CA); Azienda Vitivinicola Audarya di Enrico Pala (Serdiana, CA); Cantina Il Nuraghe (Mogoro, OR); Soc. Agr. Varoni Srl (Sanluri, VS); La casa di Sophia (Calasetta, CI); Cantine Gabriele Palmas (Sassari, SS).

Gli studi LCA fanno parte del Work Package 4 (WP4) *Caratterizzazione della qualità ambientale dei prodotti viti-vinicoli* che ha l'obiettivo di incrementare la competitività nei mercati altamente remunerativi e promuovere le capacità d'innovazione delle imprese coinvolte, mediante il miglioramento delle prestazioni ambientali dei processi produttivi e la valorizzazione della qualità ambientale dei prodotti.

Nello specifico, lo schema sperimentale si è articolato nei seguenti studi LCA:

- n.1 studio LCA sul vino Carignano del Sulcis effettuato presso l'azienda La casa di Sophia di Calasetta;
- n.1 studio LCA sul vino Vermentino di Sardegna, realizzato presso l'azienda Cantine Gabriele Palmas di Sassari;
- n. 1 studio LCA sul vino Vermentino di Sardegna, effettuato in base a dati medi rappresentativi tratti dalla letteratura tecnico-scientifica ("Vermentino virtuale");
- n.1 studio LCA sul vino Cannonau di Sardegna, realizzato presso l'azienda Cantine Gabriele Palmas di Sassari;
- n.1 studio LCA sul vino Cannonau di Sardegna, effettuato in base a dati medi rappresentativi tratti dalla letteratura tecnico-scientifica ("Cannonau virtuale").

I suddetti studi LCA sono stati realizzati in coerenza agli standard ISO 14040-44 (ISO, 2006 a,b) e facendo riferimento, per alcune scelte metodologiche, alle Regole di Categoria di prodotto definite nell'ambito dello schema di Impronta Ambientale di Prodotto (PEF - *Product Environmental Footprint*) per il settore viti-vinicolo (CEEV, 2018), promosso dalla Commissione Europea.

I modelli LCA descritti nella presente relazione sono stati sottoposti a revisione critica e conseguentemente rettificati sulla base delle modifiche suggerite dalla ditta esterna incaricata dell'audit (LCA-Lab s.r.l.).

2 OBIETTIVI E CAMPO DI APPLICAZIONE

Nell'insieme, gli studi LCA GA-VINO hanno i seguenti obiettivi:

- valutare gli impatti ambientali del ciclo di vita dei vini Carignano del Sulcis, Vermentino di Sardegna e Cannonau di Sardegna, prodotti dalle aziende La casa di Sophia di Calasetta (Carignano) e Cantine Gabriele Palmas di Sassari (Vermentino di Sardegna e Cannonau di Sardegna);
- confrontare le prestazioni ambientali dei vini prodotti nelle aziende campione rispetto al corrispettivo vino di riferimento "virtuale" (ottenuto considerando dati medi rappresentativi tratti dalla letteratura tecnico-scientifica);
- individuare i punti critici ambientali e proporre soluzioni per migliorare le prestazioni ambientali dei sistemi di produzione analizzati.

La struttura metodologica, lo sviluppo applicativo e i risultati degli studi LCA sono strettamente correlati e funzionali agli scopi del progetto GA-VINO. Pertanto, il confronto tra le prestazioni ambientali dei differenti sistemi produttivi è valido, esclusivamente, all'interno degli studi in oggetto e non può essere utilizzato per esprimere alcun giudizio di merito rispetto ai valori di letteratura o per stabilire una graduatoria tra le aziende campione.

2.1 UNITÀ FUNZIONALE E CONFINI DEL SISTEMA

In uno studio LCA, l'unità funzionale rappresenta l'unità di riferimento per il calcolo degli impatti e si può definire come quantità unitaria in grado di descrivere le funzioni fornite del bene/servizio oggetto di studio. Nelle LCA GA-VINO l'unità funzionale è rappresentata da **1 bottiglia di vino da 0,75 L** completa di packaging, prodotta nell'annata 2018/2019 e pronta a lasciare l'azienda.

La scelta di tale unità funzionale è coerente con la letteratura scientifica e le principali linee guida di settore come la "Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for still and sparkling wine" (CEEV, 2018).

Ciascun studio LCA ha analizzato il processo produttivo dalla "culla al cancello dell'azienda (*from cradle-to-farm-gate*)", ovvero fissando i **confini del sistema** (Figura 1) dall'estrazione delle materie prime necessarie alla produzione di tutti gli input coinvolti nel processo produttivo sino alla bottiglia di vino, con packaging secondario e pronta alla consegna al di fuori dell'azienda. In particolare, i confini del sistema includono: *i*) coltivazione della vite; *ii*) trasformazione dell'uva e le pratiche enologiche; *iii*) consumi di energia e di acqua; *iv*) trattori, macchinari e attrezzature agricole; *v*) materiali di consumo; *vi*) distanze e modalità dei trasporti *vii*) gestione e trattamento dei rifiuti solidi.

In coerenza con le PEFCR per il settore vitivinicolo sono stati esclusi dai confini di sistema i seguenti coprodotti: *i*) sarmenti e residui di potatura della vite; *ii*) fecce e polpe, vinacce e altri sottoprodotti della vinificazione. Peraltro, nelle aziende oggetto di studio tali sottoprodotti vengono sparsi in campo o bruciati. Inoltre, sono state escluse dal sistema le fasi di distribuzione in commercio, consumo e fine vita. Queste tre fasi sono state escluse per la difficoltà di reperire dati primari e perché ritenute marginali per gli scopi del progetto GA-VINO. La fase di vivaio (riproduzione e allevamento delle viti, prima della messa a dimora in pieno campo) non è stata considerata a causa dell'impossibilità di ottenere dati utili. Di fatto, tali dati non sono reperibili nei principali database LCA (Ecoinvent, Agrifootprint, ecc.) o nella letteratura di riferimento in cui la fase di vivaio è spesso esclusa dai confini del sistema (Benedetto, 2013; Fusi et al., 2013; Vasquez-Rowe et al., 2012).

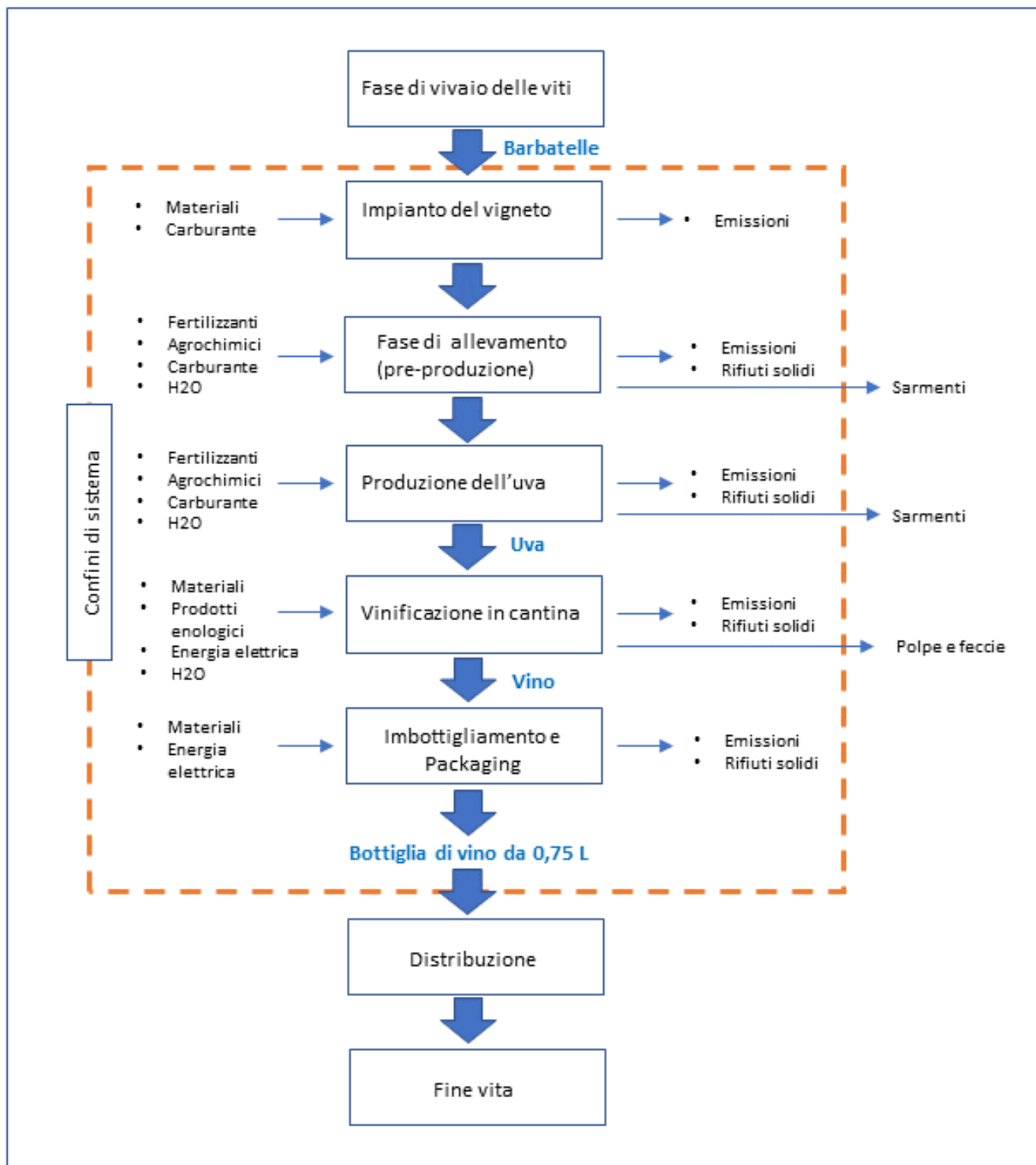


Figura 1. Diagramma di flusso e confini del sistema del vino oggetto di studio in GA-VINO.

2.2 FONTI DEI DATI PER L'INVENTARIO

L'inventario è stato costruito utilizzando dati primari (*foreground data*) e dati secondari rappresentativi (*background data*) per tutti i processi analizzati.

Vengono definiti dati primari, i dati che sono stati raccolti presso l'azienda. Per dati secondari rappresentativi si intendono quei dati che, pur provenienti da fonti esterne (banche dati e letteratura tecnico-scientifica), soddisfano determinati requisiti di qualità (riferimento temporale, completezza, criteri di esclusione). I dati generici provengono da fonti esterne di dati.

I dati primari, sono stati raccolti attraverso interviste in profondità con i responsabili delle aziende, questionari redatti *ad hoc*, analisi dei registri aziendali e numerosi sopralluoghi in azienda. Tutti i dati secondari rappresentativi sono stati estratti dal database LCA Ecoinvent Centre v3.6 (Moreno Ruiz et al., 2017). Non sono stati utilizzati dati generici.

2.3 ASSUNZIONI, ALLOCAZIONE E CRITERI DI ESCLUSIONE

I dati raccolti si riferiscono all'**annata agraria 2018-2019**. Nello specifico, si è considerato, il periodo intercorso fra la vendemmia 2018 e quella 2019, per la fase 'vigneto', e il periodo compreso fra la vendemmia 2019 e l'imbottigliamento del vino, per la fase 'cantina'.

Le emissioni dovute all'uso di **pesticidi e fertilizzanti** sono state stimate applicando i metodi riportati nella Tabella 1.

Tipo di emissioni	Metodo di calcolo
NOx in aria	Equazioni ripartite in Ecoinvent report No.15 (Nemecek and Kägi, 2007)
Metalli pesanti, PO ₃ -, P and NO ₃ - in acqua	
Metalli pesanti nel suolo	
N ₂ O (dirette e indirette) e CO ₂ in aria	Tier 1 IPCC (IPCC, 2019 ref.)
NH ₃ in aria	Ecoinvent report No.15 (Nemecek and Kägi, 2007) utilizzando i fattori di emissioni nazionali pubblicati da ISPRA (2011)
Pesticidi in acqua, aria, suolo	PEFCR Default approach (PEFCR, 2018)

Tabella 1. Tipo di emissioni e metodi di calcolo utilizzati per la stima delle emissioni da uso di pesticidi e fertilizzanti.

I consumi di **energia elettrica** sono stati rilevati in base al consumo medio annuale riportato nelle bollette emesse dai vari fornitori, al netto di eventuali consumi per usi familiari e/o extra aziendali. I consumi familiari sono stati stimati in base ai dati dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). Per i prodotti "virtuali" i consumi di energia elettrica dell'"azienda virtuale" sono stati stimati come kWh su L di vino prodotto in base allo studio "*Best Practice e indicatori ambientali delle organizzazioni vitivinicole italiane registrate EMAS*" (ISPRA, 2016). I datasets relativi al processo 'energia elettrica' sono stati costruiti sulla base degli effettivi mix energetici dichiarati dai vari fornitori per l'anno di riferimento, a partire dal processo Ecoinvent *Electricity, high voltage {IT} market for | Cut-off, U*. Per quanto riguarda l'allocazione dell'energia utilizzata in cantina (in cui si producono diverse tipologie di vino), è stato utilizzato il criterio di allocazione degli impatti in base alla quantità (massa in kg) di uva trattata per ciascun vino rispetto a quella lavorata in totale.

I consumi di **acqua** sono stati stimati (non è stato possibile effettuare il rilievo diretto per la mancanza di contatori) attraverso interviste e sulla base dei consumi attesi (ISPRA, 2016), con particolare attenzione per l'irrigazione e l'acqua utilizzata per la diluizione dei prodotti fitosanitari. Nei vini 'virtuali' sono stati utilizzati i volumi di adacquamento dei vigneti riportati nei "Disciplinari di produzione integrata: norme tecniche" (Regione Autonoma della Sardegna, 2020) e i valori indicati nello studio "Best Practice e indicatori ambientali delle organizzazioni vitivinicole italiane registrate EMAS" (ISPRA, 2016) per i consumi dovuti ai lavaggi delle attrezzature di cantina.

I consumi di **combustibili** sono stati stimati sommando i consumi di tutte le operazioni agricole, a sua volta determinate moltiplicando il consumo orario della trattrice abbinata a ciascun macchinario per le ore di effettivo uso (dati riferiti dall'operatore e incrociati con valori di letteratura).

Gli impatti relativi alla produzione di **macchinari e attrezzature**, (compresi le attrezzature di cantina e gli impianti di irrigazione) sono stati computati utilizzando i datasets Ecoinvent, considerando la massa di ciascun macchinario/attrezzatura (da scheda tecnica della casa produttrice) e dividendo il relativo impatto per la durata effettiva del bene (una sorta di 'ammortamento' degli impatti in base alla vita utile del bene). Per l'allocazione degli impatti delle attrezzature di cantina utilizzate per la produzione di varie tipologie di vino, è stato utilizzato il 'criterio di massa' (coefficiente di allocazione ottenuto dividendo la massa in kg di ciascuna tipologia di uva per la massa totale di uva trasformata). Tutti gli altri **beni capitali** e le **infrastrutture** (capannoni, bacini artificiali, ecc.), per quanto inventariati, sono stati esclusi dai confini del sistema, come previsto dalle PEFCR di riferimento. Per quanto riguarda i refrigeratori usati durante la vinificazione, in base ai rilievi fatti in azienda e alle interviste ai viticoltori e a tecnici del settore, si è assunto che le **perdite di gas refrigerante** siano nulle.

Sono stati considerati tutti i **trasporti** (finali e intermedi), considerando tipologia (compreso il mezzo), distanze percorse e massa trasportata. Per le distanze si sono utilizzati dati primari quando disponibili (anche da indagine su internet per ubicazione stabilimenti di produzione e catena logistica). Per attrezzature/forniture di grandi dimensioni il trasporto su strada ha fatto riferimento ai relativi processi Ecoinvent. In mancanza di dati primari, logistica e distanze sono state ricostruite utilizzando l'applicazione disponibile sul sito <https://www.searates.com>.

Per le **bottiglie di vetro**, il peso è stato rilevato direttamente in azienda mentre per le bottiglie dei vini "virtuali" sono state ipotizzate, per un criterio di maggiore confrontabilità, le stesse bottiglie dei vini Cannonau di Sardegna e Vermentino di Sardegna utilizzate dall'azienda Cantine Gabriele Palmas. Il vetro è stato modellizzato utilizzando i datasets di Ecoinvent "*packaging glass, brown (CH) production*" e "*packaging glass, white (CH) production*". Tali datasets sono stati ottenuti dai dati forniti dalla Vetropack, azienda leader in Europa per la produzione di vetro da imballaggio.

Anche il peso dei **tappi di sughero** è stato rilevato direttamente in azienda. Per i vini "virtuali" sono state ipotizzate, per un criterio di maggiore confrontabilità, gli stessi tappi dei vini Cannonau di Sardegna e Vermentino di Sardegna utilizzati dall'azienda Cantine Gabriele Palmas. In questo caso, non esistendo un dataset specifico in Ecoinvent, è stata ricostruita l'LCA dei tappi di sughero, facendo riferimento allo studio "Ecobilancio di prodotti in sughero" (Ecobilancio Italia, 2010) da cui sono stati ricavate due tipologie di tappo: i) il mono pezzo, usato per i vini Carignano e Cannonau, e ii) il tappo di sughero agglomerato utilizzato per i Vermentini.

Per quanto riguarda le **scatole di cartone** utilizzate per il confezionamento secondario dei vini, il peso è stato rilevato direttamente in azienda. In questo caso, il peso è risultato lo stesso per tutti i vini studiati ed è stato utilizzato il processo Ecoinvent "*Corrugated board box (RER) production*".

Per la costruzione del modello LCA ed i calcoli degli impatti, si è utilizzato il **software SimaPro Analyst** versione 9.1 (Pré Consultants, 2020).

2.4 METODI PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Al fine di ottenere un quadro completo delle implicazioni ambientali correlate alla produzione dei vini oggetto di studio, si è utilizzato il metodo di valutazione *Environmental Footprint 2.0 (adapted)* (EF). Tale metodo, definito nell'ambito dell'*Environmental Footprint initiative* (Fazio et al., 2018), contempla al suo interno 16 categorie di impatto (*mid point categories*). Negli studi in oggetto, oltre al Cambiamento Climatico (*Climate Change*) e Uso di acqua (*Water Use*) - indubbiamente, le categorie più importanti rispetto agli obiettivi del progetto GA-VINO - si sono considerate le categorie di impatto elencate nella Tabella 2. La scelta delle categorie è stata effettuata selezionando le 7 categorie risultanti più impattanti, a seguito delle operazioni di normalizzazione e pesatura dei risultati finali per ogni categoria di impatto. Rispetto alle categorie indicate come più rilevanti dalle PEFCR di settore, è stata aggiunta l'Eutrofizzazione terrestre, mentre è stata esclusa la categoria Particolato, perché considerata poco rilevante rispetto agli scopi del progetto.

Il metodo di valutazione IPCC (2013) (categoria di impatto Cambiamento Climatico) è stato applicato utilizzando i nuovi fattori di caratterizzazione per il CH₄ biogenico e fossile pari a 34.00 e 36.75 kg CO₂eq/kg CH₄, rispettivamente.

CATEGORIA DI IMPATTO	INDICATORE IMPATTO	UNITA' DI MISURA	METODO DI VALUTAZIONE
Cambiamento Climatico (<i>Climate Change; biogenic; Land use and land transformation</i>)	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100)	kg CO ₂ eq	Baseline model of 100 years of the IPCC (based on IPCC 2013)
Acidificazione (<i>Acidification</i>)	Accumulated Exceedance (AE)	kg H ⁺ eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Eutrofizzazione, terrestre (<i>Eutrophication, terrestrial</i>)	Accumulated Exceedance (AE)	mol N eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Uso del suolo (<i>Land Use</i>)	Soil quality index - Biotic production - Erosion resistance - Mechanical filtration - Groundwater replenishment	- Adimensionale (pt) - kg biotic production - kg soil - m ³ water - m ³ groundwater	Soil quality index based on - LANCA (EC-JRC) - LANCA (Beck et al. 2010) - LANCA (Beck et al. 2010) - LANCA (Beck et al. 2010) - LANCA (Beck et al. 2010)
Uso dell'acqua (<i>Water scarcity</i>)	User deprivation potential (deprivation weighted water consumption)	m ³ world eq	Available WATERREmaining (AWARE) Boulay et al., 2016
Impoverimento delle risorse minerali (<i>Resource use, minerals and metals</i>)	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	kg Sb eq	CML 2002 (Guinée et al., 2002) and van Oers et al. 2002.
Impoverimento delle risorse fossili (<i>Resource use, energy carriers</i>)	Abiotic resource depletion – fossil fuels (ADP-fossil)	MJ	CML 2002 (Guinée et al., 2002) and van Oers et al. 2002

Tabella 2. Categorie d'impatto e relativi indicatori con unità di misura e specifici metodi di calcolo degli impatti applicati nell'ambito del metodo di valutazione *Environmental Footprint2.0* (Fazio et al., 2018).

3 ANALISI DELL'INVENTARIO (LCI)

3.1 RACCOLTA DATI

La fase di analisi di inventario (*Life Cycle Inventory* - LCI) consiste nella contabilità dettagliata dei flussi in entrata e in uscita dal sistema oggetto d'indagine e si basa sulla raccolta delle informazioni (dati) riguardanti le risorse impiegate, le emissioni, i consumi e i prodotti. Il LCI rappresenta, quindi, il processo di quantificazione delle materie prime e dell'energia consumate, delle emissioni nell'atmosfera, nel suolo e in acqua, dei rifiuti generati e di tutte le altre emissioni legate al ciclo di vita del prodotto/processo/attività. Questo tipo di analisi può essere estremamente complessa e può coinvolgere decine di singole unità di processo in una filiera, così come varie centinaia di sostanze di cui occorre tenere traccia. Come tale, il LCI rappresenta il momento più importante di una LCA in quanto da esso dipende il grado di affidabilità e 'precisione' del modello che descrive il sistema studiato. Pertanto, la raccolta dati, costituendo la base dell'LCI, è la fase di uno studio LCA che richiede maggiore dispendio di tempo.

I dati primari sono stati raccolti mediante interviste e visite *in situ*, finalizzate alla compilazione e controverifica di 2 appositi questionari: 1) scheda di descrizione generale dell'azienda e dati di inventario della 'fase vigneto' (dalle lavorazioni pre-impianto alla vendemmia); 2) dati di inventario della 'fase cantina' (dalla vendemmia all'imbottigliamento). In linea generale, in tali documenti si sono quantificati tutti gli input e output, organizzati per fasi del sistema produttivo, comprendenti consumi idrici e energetici, uso del suolo (incluse le operazioni colturali), infrastrutture, macchinari e materiali di consumo utilizzati. Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti a scrupolosa verifica di qualità, attraverso controlli incrociati tra differenti fonti di informazioni, compresa la letteratura scientifica di settore, ed effettuando bilanci di massa volti a garantire la congruenza dei flussi in entrata e uscita. Solo dopo il completamento di tutte le verifiche e rettifiche del caso, i dati sono stati validati e aggregati nel modello LCA elaborato con il software SimaPro Analyst.

3.2 AZIENDE COINVOLTE

Di seguito si riporta una descrizione delle aziende coinvolte nel progetto (Figura 2) corredata dalla sintesi dei principali dati di inventario.

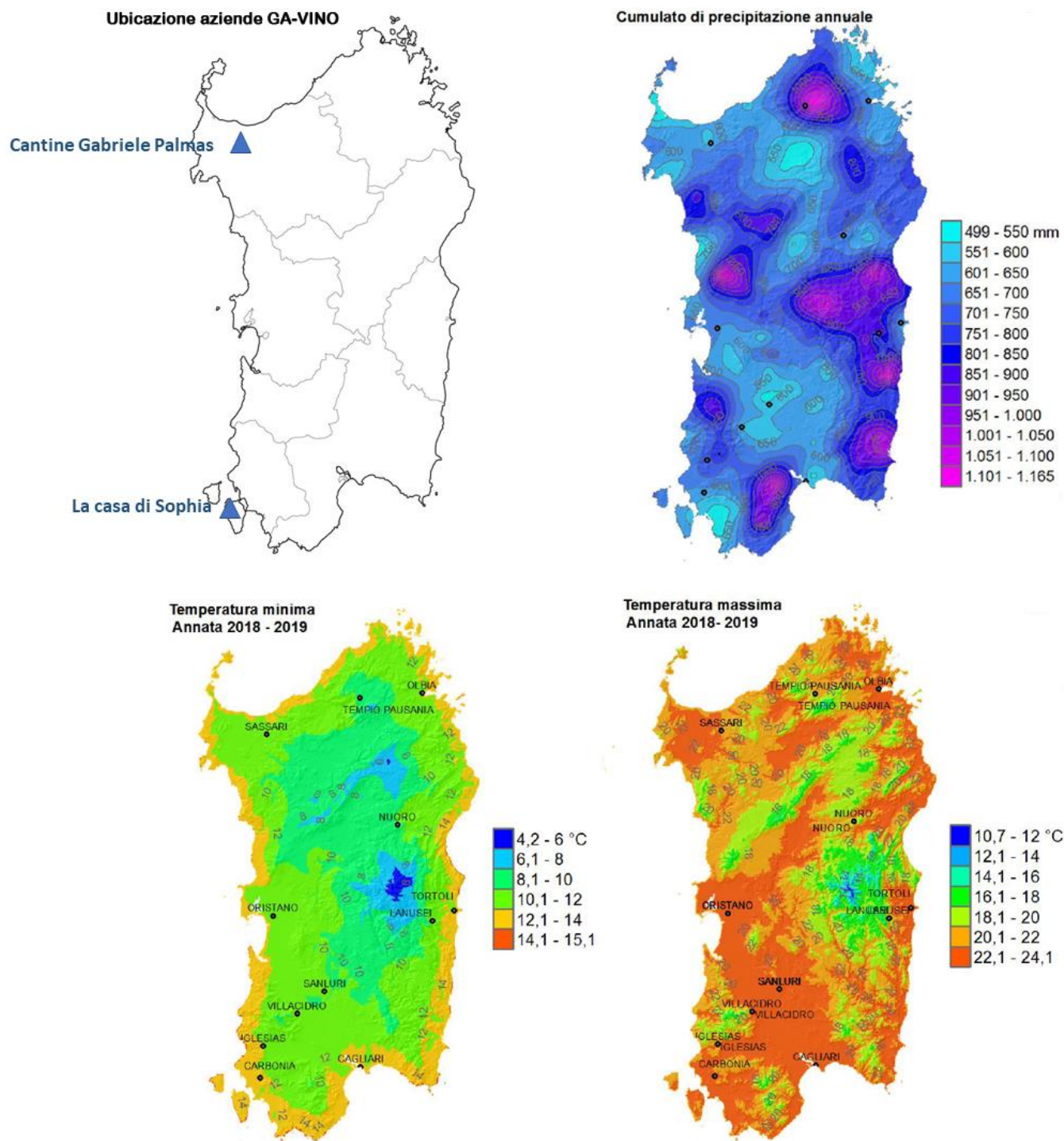


Figura 2. Ubicazione delle aziende oggetto di studio e dati meteorologici per l'annata agraria 2018-2019 (precipitazioni annuali, temperature minime, temperature massime) (ARPAS, 2020).

3.2.1 La casa di Sophia

L'azienda vitivinicola La casa di Sophia (Figura 3) è una piccola azienda a conduzione diretta situata in agro di Calasetta, sull'isola minore di Sant'Antioco (39°04'10.77"N e 8°21'32.50"E, altitudine 19 m s.l.m.). L'azienda si trova a poche centinaia di metri dal mare, su un suolo con scheletro prevalentemente sabbioso. Il vigneto, interamente dedicato alla produzione del vino Carignano, è condotto con metodo biologico certificato (regolamento CEE 2092/91), ed ha un'estensione totale di 0,53 ha. Inoltre, è presente un piccolo oliveto di 1,59 ha.

Il vigneto è stato impiantato nel 1970, da materiale di propagazione ottenuto da aziende locali. Il vitigno principale è il Carignano nero, coltivato a piede franco con metodo di allevamento ad alberello e con una densità pari a circa 5.680 piante/ha. La durata del vigneto è stata calcolata dividendo il numero totale di piante per il numero di fallanze annue. Si è assunto, pertanto, che ogni 35 anni tutte le piante del vigneto vengano sostituite.



Figura 3.L'azienda La casa di Sophia vista dall'alto.

Il vino prodotto non ha la denominazione "Carignano del Sulcis" in quanto, per mera scelta imprenditoriale, non sono mai state avviate le procedure per l'ottenimento del marchio DOC.

Il vigneto non è dotato di impianto di irrigazione. L'azienda non possiede macchine e attrezzature agricole e tutti i lavori agricoli vengono svolti da contoterzisti.

Tra le tecniche agronomiche utilizzate è da citare l'inerbimento, effettuato tramite la semina annuale di una miscela di semi e gestito con successive operazioni di sarchiatura, per incorporare la sostanza organica e migliorare la struttura del terreno.

Nella gestione fitosanitaria del vigneto non vengono utilizzati prodotti di sintesi chimica, come prescritto dal metodo Biologico.

La cantina, situata a poche decine di metri dal vigneto, si compone di due locali in muratura di circa 120 m², attinenti alla casa colonica dove la famiglia dell'imprenditrice agricola risiede per tre mesi l'anno.

L'azienda è dotata di un pozzo artesiano. Da analisi svolte durante lo studio LCA, l'acqua del pozzo è risultata inadatta sia al consumo umano sia all'uso agricolo a causa dell'eccessiva salinità.

L'energia elettrica proviene dall'allaccio alla rete e dall'installazione di pannelli fotovoltaici che hanno una potenza totale pari 3 kWh.

Parte dell'uva utilizzata - 600 kg su 2.364 kg di uva trasformata - per la produzione del vino è stata acquistata da un'azienda locale condotta anch'essa con metodo biologico. Ai fini del nostro studio, si è assunto che i metodi di produzione dell'uva acquistata siano del tutto simili a quelli adottati dall'azienda La casa di Sophia.

Indubbiamente, la resa in uva nell'anno di riferimento è da considerarsi più bassa dei valori di norma: a fronte di una produzione annua media di 50-60 quintali per ettaro, nell'anno di riferimento ne sono stati prodotti circa 33 quintali per ettaro. Questo calo di produzione si allinea alla tendenza per la stessa annata dell'intero comparto vitivinicolo sardo. I dati presentati dall'Osservatorio del vino per l'annata 2019 parlano di un calo di produzione del 16% a livello nazionale e del 13% a livello locale sardo (ISMEA, 2019). Il calo di produzione in Sardegna è attribuibile a forti venti e abbassamento delle temperature che a Maggio 2019 hanno contribuito a rallentare il ciclo vegetativo della vite e a ritardarne la fioritura.

Il metodo di vinificazione tende a limitare il più possibile l'utilizzo di additivi enologici. Non vengono utilizzati lieviti artificiali ma si tende a favorire il proliferare dei lieviti naturalmente presenti sull'uva e nella cantina. Inoltre, non vengono utilizzati flocculanti o precipitanti, e la chiarificazione del vino è effettuata tramite molteplici travasi.

Di seguito, si riportano i dati generali (Tabella 3) e i principali dati di inventario (Tabelle 4a e 4b) dell'azienda La casa di Sophia.

Dati generali	
Uso del suolo precedente al vigneto	pascolo
Distanza del vigneto dalla cantina	0,2 km
Superficie Agricola Utilizzata (ha)	0,528
Sesto di impianto (m)	0,7 x 1,8
Piante insistenti sull'appezzamento (n. piante/ha)	5.680
Anno di impianto	1970
Forma di allevamento	alberello
Tipo di impianto irriguo	nessuno
Primo anno di produzione	1973
Anno di entrata a regime	1973
Uva prodotta, annata 2018/2019 (kg)	1.764
Uva acquistata, annata 2018/2019 (kg)	600
Uva trasformata in totale, annata 2018/2019 (kg)	2.364
Produzione uva, media annua (kg)	2.000

Tabella 3. Dati generali del vigneto dell'azienda La casa di Sophia.

<i>Dati di inventario vigneto Carignano</i>		
Acqua per trattamenti	3,1	m ³ /ha
Gasolio	151	L/ha
Concimazione		
Letame	2525	kg/ha
Concime organico Bio	520	kg/ha
Concime fogliare Bio	0,3	L/ha
Prodotti Fitosanitari		
Caolino	28,4	kg/ha
Rame	1,9	kg/ha
Zolfo elementare	47,3	kg/ha
zolfo solubile	21,8	kg/ha
Olio essenziale	3,8	L/ha
Bacillus Thuringiensis	0,4	kg/ha

Tabella 4a. Dati di inventario del vigneto dell'azienda La casa di Sophia.

<i>Dati inventario cantina</i>		
Vino prodotto	1710	L
Acqua lavaggi	0,005	m ³ /L
Energia elettrica	0,93	kWh/L
Metabisolfito di potassio	7,95E-05	kg/L
Bottiglia di vetro	0,36	kg
Box di cartone (6 bottiglie)	0,50	kg

Tabella 4b. Dati di inventario della cantina dell'azienda La casa di Sophia.

3.2.2 Cantine Gabriele Palmas

L'azienda Cantine Gabriele Palmas (Figure 4 e 5) è situata in agro di Sassari (40°41'45.96"N e 8°25'29.94"E altitudine 74 m s.l.m.). La superficie aziendale complessiva di 74 ha comprende, oltre ai vigneti (in totale 14,5 ha), un oliveto di 2 ha, attualmente non coltivato, e circa 50 ha di seminativo. L'azienda è condotta dall'imprenditore agricolo con l'aiuto di un dipendente fisso e di lavoratori stagionali assunti per la vendemmia.

I vigneti in produzione occupano una superficie di circa 8,5 ha e sono stati impiantati tra il 2004 e il 2005, su un terreno lasciato incolto da molti anni. Le varietà di uva in produzione sono le seguenti: Vermentino di Sardegna, Cannonau di Sardegna, Syrah, Merlot, Cabernet Sauvignon.

Oltre al vigneto in produzione sono presenti diversi appezzamenti, per un totale di 6 ha, comprendenti vitigni impiantati nel 2017 e che sono entrati a regime nell'annata 2019-2020 (dunque l'annata agraria successiva a quella dello studio GA-VINO).

Le barbatelle utilizzate per il trapianto sono costituite da varietà clonali acquistati presso i maggiori vivai della penisola e dell'Isola (VCR Vivai Cooperativi Rauscedo; Consorzio interprovinciale per la frutticoltura OR-CA).

Tutta la superficie vitata è dotata di impianto di irrigazione ad ali gocciolanti.

L'acqua per l'irrigazione è fornita dal Consorzio di Bonifica della Nurra che assicura una fornitura massima di 35.000 m³ annui.

L'acqua per gli usi di cantina è fornita da un pozzo trivellato della profondità di 60 m, servito da una pompa di potenza pari a 4 CV.

L'energia elettrica è garantita dall'allaccio alla rete.

La cantina, di superficie pari a 300 m², si trova nelle vicinanze del vigneto.

Il responsabile dell'azienda dichiara una capacità produttiva annua massima di vino pari a 60.000 L.



Figura 4. Veduta delle vigne dell'azienda Cantine Gabriele Palmas

Il vino Cannonau di Sardegna oggetto di studio è stato ricavato da una superficie vitata di 1,5 ha. Oltre all'uva Cannonau è stata utilizzata uva Syrah, in quantità pari a 300 kg, corrispondenti (in base alla resa di produzione dell'anno di riferimento) ad una superficie di 0,08 ha di vigneto.

Il vino Vermentino di Sardegna oggetto di studio è stato ricavato da un appezzamento di superficie pari a 3,5 ha.



Figura 5. Ubicazione dei vari appezzamenti dell'azienda Cantine Gabriele Palmas

Nell'annata di riferimento la resa del Cannonau è stata straordinariamente bassa a causa dei problemi fitosanitari (attacchi di Peronospora) avuti dalla coltura nei due anni precedenti. Nell'annata di riferimento la resa per ettaro è stata di circa 14,7 quintali (q.li) contro una media aziendale quantificabile attorno ai 70 q.li.

Anche la resa del Vermentino è stata notevolmente bassa rispetto alle medie aziendali. Nell'annata di riferimento la resa per ettaro è stata di circa 30,1 q.li contro una media aziendale di uva raccolta quantificabile intorno ai 70 q.li.

Tale problematica è da imputare ai forti venti di Maestrale che durante la tarda primavera hanno portato aria salmastra sulle colture, danneggiando la parte epigea delle viti sino a ridurre la superficie fogliare.

Di seguito, si riportano i dati generali (Tabelle 5a e 5b) e i principali dati di inventario (Tabelle 6, 7a e 7b) dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

Dati generali Vermentino di Sardegna	
Uso del suolo precedente al vigneto	pascolo
Distanza del vigneto dalla cantina (km)	0,2
Superficie Agricola Utilizzata (ha)	3,5
Sesto di impianto (m)	2,50 x 1,10
Piante insistenti sull'appezzamento (n. piante/ha)	3.077
Anno di impianto	2004
Forma di allevamento	Spalliera guyot
Tipo di impianto irriguo	a goccia
Primo anno di produzione	2007
Anno di entrata a regime	2009
Uva prodotta (kg)	10.500

Tabella 5a.Dati generali del vino Vermentino di Sardegna prodotto dall'azienda Cantine Gabriele Palmas.

Dati generali Cannonau di Sardegna	
Uso del suolo precedente al vigneto	pascolo
Distanza del vigneto dalla cantina (km)	0,2
Superficie Agricola Utilizzata (ha)	1,5
Sesto di impianto (m)	2,50 x 1,10
Piante insistenti sull'appezzamento (n. piante/ha)	3.077
Anno di impianto	2005
Forma di allevamento	Spalliera guyot
Tipo di impianto irriguo	a goccia
Primo anno di produzione	2007
Anno di entrata a regime	2009
Uva prodotta (kg)	2.200

Tabella 5b.Dati generali del vino Cannonau di Sardegna prodotto dall'azienda Cantine Gabriele Palmas.

<i>Dati di inventario vigneto Cannonau di Sardegna e Vermentino di Sardegna</i>		
Acqua		
irrigazione	400,0	m ³ /ha
trattamenti	1,2	m ³ /ha
Gasolio	66,9	L/ha
Concimazione		
Azoto	40,0	kg/ha
Fosforo	20,0	kg/ha
Potassio	48,0	kg/ha
Erbicidi		
Glifosate	2,2	L/ha
Prodotti fitosanitari		
Meptyldinocap	0,4	kg/ha
Folpet	2,4	kg/ha
Dimethomorph	0,6	kg/ha
Tebuconazolo	0,1	kg/ha
Mancozeb	1,5	kg/ha
Zolfo (Tiovit jet)	1,6	kg/ha
Rame	0,4	kg/ha

Tabella 6. Principali dati di inventario del vigneto dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

<i>Dati inventario cantina Vermentino di Sardegna</i>		
Uva Lavorata	10.800	kg
Vino prodotto	7.600	L
Acqua lavaggi	38	m ³
Energia elettrica	2.447,9	kWh
Prodotti enologici		
Metabisolfito di potassio	1,9	kg
Enzimi	0,4	kg
Acido ascorbico	0,2	kg
Lieviti	1,9	kg
Attivanti di fermentazione	1,5	kg
Perlite	114,0	kg
Caseinato di potassio	0,5	kg
Bentonite	1,5	kg
MCR	7,6	L
Gomma Arabica	7,6	L
Bottiglia di vetro	0,56	kg
Box di cartone (6 bottiglie)	0,50	kg

Tabella 7a. Principali dati di inventario del vino Vermentino di Sardegna prodotto nella cantina dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

<i>Dati inventario cantina Cannonau di Sardegna</i>		
Uva lavorata	2500	kg
Vino Cannonau prodotto	1750	L
Acqua lavaggi	8,7	m ³
Energia elettrica	563,6	kWh
Prodotti enologici		
Metabisolfito di potassio	0,4	kg
Enzimi	0,1	kg
Acido ascorbico	0,1	kg
Lieviti	0,9	kg
Attivanti di fermentazione	0,4	kg
Bentonite	0,4	kg
MCR	1,8	L
Gomma Arabica	1,8	L
Bottiglia di vetro	0,56	kg
Box di cartone (6 bottiglie)	0,50	kg

Tabella 7b. Principali dati di inventario del vino Cannonau di Sardegna prodotto nella cantina dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

3.2.3 Vini “virtuali”

Per la costruzione del modello dei vini ‘virtuali’ è stata ipotizzata, per le due tipologie di vino analizzato, un’azienda “virtuale” i cui dati relativi a dimensioni, livello produttivo e uso di input sono stati ricavati dalla letteratura.

Per quanto riguarda le superfici coltivate e le rese medie annue sono stati utilizzati i dati ricavati dalla pubblicazione “ISMEA 2008 Aspetti strutturali e di mercato nel comparto dei vini Doc-Docg” (ISMEA, 2008).

I consumi idrici ed elettrici (per L di vino prodotto) sono stati stimati in base ai risultati dello studio “ISPRA 2016: Best Practice e indicatori ambientali delle organizzazioni vitivinicole italiane registrate EMAS” (ISPRA, 2016).

Gli input legati a irrigazione, lavorazioni, concimazioni e trattamenti antiparassitari sono stati ricavati dai “Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Sardegna: Norme tecniche generali agronomiche e difesa. Aggiornamento 2020” (Regione Autonoma della Sardegna, 2020).

La dotazione di macchine e attrezzature, nonché i consumi medi unitari di gasolio sono stati stimati attraverso interviste effettuate ad esperti del settore e ai ricercatori Agris e Uniss coinvolti nel progetto GA-VINO.

Le distanze per il trasporto dei mezzi di produzione sono state calcolate considerando l’“azienda virtuale” collocata a 100 km di distanza dal porto di Cagliari.

Di seguito, si riportano i dati generali (Tabelle 8a e 8b) e i principali dati di inventario (Tabelle 9a, 9b, 10a e 10b) delle “aziende virtuali”.

Dati generali Vermentino di Sardegna “virtuale”	
Uso del suolo precedente al vigneto	pascolo
Distanza del vigneto dalla cantina	0 km
Superficie Agricola Utilizzata (ha)	1,21
Sesto di impianto (m)	1,2 x 2,5
Piante insistenti sull'appezzamento (n. piante/ha)	4.250
Forma di allevamento	Spalliera Guyot
Tipo di impianto irriguo	impianto a goccia
Uva prodotta (kg/ha)	10.888

Tabella 8a. Dati generali del vino Vermentino di Sardegna “virtuale”.

Dati generali Cannonau di Sardegna “virtuale”	
Uso del suolo precedente al vigneto	pascolo
Distanza del vigneto dalla cantina	0 km
Superficie Agricola Utilizzata (ha)	2,17
Sesto di impianto (m)	1,2 x 2,5
Piante insistenti sull'appezzamento (n. piante/ha)	4.250
Forma di allevamento	spalliera Guyot
Tipo di impianto irriguo	impianto a goccia
Uva prodotta (kg/ha)	3.261

Tabella 8b. Dati generali del vino Cannonau di Sardegna “virtuale”.

<i>Dati di inventario vigneto Vermentino di Sardegna "virtuale"</i>		
Acqua		
Irrigazione	450	m ³ /ha
Trattamenti	1,0	m ³ /ha
Gasolio	95	L/ha
Concimazione		
Azoto	50	kg/ha
Fosforo	40	kg/ha
Potassio	80	kg/ha
Erbicidi		
Glifosate	1,4	L/ha
Pendimethalin	1,6	L/ha
Prodotti Fitosanitari		
Folpet	1,0	kg/ha
Mancozeb	2,0	kg/ha
Zolfo elementare	75	kg/ha
Rame	0,8	kg/ha

Tabella 9a. Principali dati di inventario del vigneto Vermentino di Sardegna "virtuale".

<i>Dati di inventario vigneto Cannonau di Sardegna "virtuale"</i>		
Acqua		
Irrigazione	450	m ³ /ha
Trattamenti	1,0	m ³ /ha
Gasolio	95	L/ha
Concimazione		
Azoto	30	kg/ha
Fosforo	30	kg/ha
Potassio	50	kg/ha
Erbicidi		
Glifosate	1,4	L/ha
Pendimethalin	1,6	L/ha
Prodotti Fitosanitari		
Folpet	1,0	kg/ha
Mancozeb	2,0	kg/ha
Zolfo elementare	75	kg/ha
Rame	0,8	kg/ha

Tabella 9b. Principali dati di inventario del vigneto Cannonau di Sardegna "virtuale".

<i>Dati inventario cantina Vermentino di Sardegna "virtuale"</i>		
Uva Lavorata	10.888	kg
Vino prodotto	7.077,2	L
Acqua lavaggi	35,4	m3
Energia elettrica	3.892,5	kWh
Prodotti enologici		
Metabisolfito di potassio	1,9	kg
Enzimi	0,4	kg
Acido ascorbico	0,2	kg
Lieviti	1,8	kg
Attivanti di fermentazione	1,4	kg
Perlite	106,2	kg
Caseinato di potassio	0,4	kg
Bentonite	1,4	kg
MCR	7,1	L
Gomma Arabica	7,1	L
Bottiglia di vetro	0,56	kg
Box di cartone (6 bottiglie)	0,50	kg

Tabella 10a. Principali dati di inventario del vino Vermentino di Sardegna prodotto nella "azienda virtuale".

<i>Dati inventario cantina Cannonau di Sardegna "virtuale"</i>		
Uva Lavorata	3.261	kg
Vino prodotto	2.217,5	L
Acqua lavaggi	11,1	m3
Energia elettrica	1.219,6	kWh
Prodotti enologici		
Metabisolfito di potassio	1,1	kg
Enzimi	0,4	kg
Acido ascorbico	0,2	kg
Lieviti	1,8	kg
Attivanti di fermentazione	1,4	kg
Bentonite	1,4	kg
MCR	7,1	L
Gomma Arabica	7,1	L
Bottiglia di vetro	0,56	kg
Box di cartone (6 bottiglie)	0,50	kg

Tabella 10b. Principali dati di inventario del vino Cannonau di Sardegna prodotto nella "azienda virtuale".

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Come riportato nel paragrafo “2.4 Metodi per la valutazione degli impatti”, l’analisi degli impatti ambientali è stata effettuata attraverso l’applicazione del metodo EF 2.0 (*adapted*) (Fazio et al., 2018). In particolare, sono state considerate le categorie di impatto Cambiamento Climatico, Eutrofizzazione (relativamente agli ambienti terrestri, marini e di acque dolci), Uso del suolo e Uso dell’acqua.

Cambiamento Climatico

Il riscaldamento globale è causato da una concentrazione crescente in atmosfera di gas ad effetto serra, quali l’anidride carbonica, il metano, l’ossido nitrico, etc., che, assorbendo una parte della radiazione terrestre, portano ad un aumento della temperatura atmosferica globale (effetto serra) a cui sono associati i cambiamenti climatici.

L’indicatore caratteristico dell’effetto serra è il *Global Warming Potential* (GWP) che, nel caso del metodo EF 2.0 (*adapted*), è valutato per un periodo di esposizione, chiamato “tempo di orizzonte”, pari a 100 anni. La sostanza di riferimento utilizzata per la misura del cambiamento climatico è la CO₂, a cui corrisponde il valore unitario (GWP = 1). Agli altri gas responsabili del cambiamento climatico è attribuito un fattore di caratterizzazione, che rappresenta la misura del potenziale contributo all’effetto serra rispetto alla CO₂. Per tale ragione, l’unità di misura del GWP si esprime in kg di CO₂ equivalenti (CO₂eq).

Acidificazione

L’acidificazione riguarda le ripercussioni delle sostanze acidificanti sull’ambiente. Le emissioni di NO_x, NH₃ e SO_x comportano il rilascio di ioni idrogeno (H⁺) quando tali gas sono mineralizzati. I protoni favoriscono l’acidificazione dei suoli e delle acque se rilasciati in superfici dove la capacità tampone è bassa, con conseguente deterioramento delle foreste e acidificazione dei laghi. L’indicatore dell’acidificazione si riferisce al superamento del carico critico e si esprime in moli di H⁺ equivalenti.

Eutrofizzazione

L’eutrofizzazione consiste nell’aumento della concentrazione di sostanze nutritive nel suolo e nell’acqua. L’eccessivo rilascio nell’ambiente di composti a base di fosforo e azoto stimola una crescita sproporzionata delle piante, ad esempio di alghe nei corpi idrici, che, generando un abbassamento della concentrazione di ossigeno nelle acque e compromettendone la qualità, arreca gravi danni all’intero ecosistema (es. moria dalla fauna marittima).

Il metodo EF distingue tre tipologie di eutrofizzazione, in funzione degli ambienti in cui si può manifestare:

- *Acque dolci*, misurata in kg di P equivalenti;
- *Acque acque marine*, misurata in kg di N equivalenti;
- *Terrestre*, misurata in mol di N equivalenti.

Uso del suolo

L’Uso del suolo è un indicatore dell’impatto ambientale dovuto allo sfruttamento del suolo. Questo indicatore, espresso nel metodo EF 2.0 (*adapted*) in punti (Pt), tiene conto degli impatti sulle seguenti proprietà del suolo: resistenza all’erosione, filtrazione meccanica, filtrazione fisico-chimica, rigenerazione delle acque sotterranee e produzione biotica. Una volta elaborati, tali dati vengono aggregati per ottenere un solo indicatore, espresso nel valore in Pt. Maggiore è il punteggio Uso del suolo, maggiore sarà il potenziale impatto ambientale.

Uso dell'acqua

L'Uso dell'acqua rappresenta la quantità d'acqua disponibile per una specifica area considerata dopo che la richiesta degli ecosistemi e delle attività antropiche è stata soddisfatta. Questo valore, espresso in m³, valuta dunque il potenziale di privazione dell'acqua sia per l'uomo che per gli ecosistemi e si basa sul presupposto che meno acqua sarà disponibile per una specifica area, maggiore sarà la probabilità che qualcuno ne venga privato. L'Uso dell'acqua contemplato nel metodo EF 2.0 (*adapted*) considera l'acqua disponibile a livello globale, espresso in m³ world eq.

Impoverimento delle risorse minerali

L'Impoverimento delle risorse minerali e metalliche, è la categoria che quantifica la riduzione di materie prime non rinnovabili rispetto al quantitativo esistente. L'indicatore di questa categoria è il potenziale di impoverimento delle risorse (*Abiotic Depletion Potential* - ADP) espresso in kg di antimonio (Sb) equivalente.

Impoverimento delle risorse fossili

Anche questa categoria, come la precedente, indica il consumo di risorse non rinnovabili e nello specifico fa riferimento alla quantità di combustibili fossili utilizzati per la produzione di energia rispetto al quantitativo di risorse fossili esistenti. L'indicatore di questa categoria è il potenziale di impoverimento delle risorse (*Abiotic Depletion Potential* - ADP) espresso in MJ.

Di seguito, si riportano i **risultati** della valutazione degli impatti ambientali (Tabella 11), relativamente alle categorie di impatto sopradescritte. Gli impatti sono riferiti all'unità funzionale "una bottiglia di vino da 0,75 L".

Azienda		La Casa di Sophia	Cantine Gabriele Palmas		Vini "virtuali"	
Categoria di impatto	Unità di misura	Carignano	Vermentino di Sardegna	Cannonau di Sardegna	Vermentino di Sardegna	Cannonau di Sardegna
Cambiamento climatico	kg CO ₂ eq	1,83	1,12	1,77	1,02	1,52
Acidificazione	mol H ⁺ eq	1,72E-02	8,44E-03	1,48E-02	7,71E-03	1,24E-02
Eutrofizzazione terrestre	mol N eq	7,29E-02	7,38E-02	1,38E-01	2,55E-02	4,53E-02
Uso del suolo	Pt	4,32E+02	6,06E+02	1,12E+03	1,61E+02	4,68E+02
Uso dell'acqua	m ³ depriv.	3,93E-01	6,53E+00	1,20E+01	2,39E+00	7,01E+00
Impoverimento delle risorse fossili	MJ	2,29E+01	1,39E+01	2,12E+01	1,32E+01	1,88E+01
Impoverimento delle risorse minerali	kg Sb eq	8,11E-05	7,82E-05	1,40E-04	5,62E-05	1,49E-04

Tabella 11. Risultati della valutazione degli impatti ambientali riferiti all'unità funzionale una bottiglia di vino da 0,75 L e calcolati con il metodo *Environmental Footprint 2.0 (adapted)* (Fazio et al., 2018).

Nei successivi sotto-paragrafi, si riportano le analisi di contributo degli impatti, ovvero l'incidenza del singolo processo o gruppo di processi sul valore complessivo della prestazione ambientale di ciascun vino. In particolare, si sono considerati i contributi dei seguenti gruppi di processi:

Impianto del vigneto: vengono considerati i processi relativi alla preparazione del terreno, messa in opera degli impianti, concimazione di fondo e impianto delle barbatelle di vite. In questo gruppo sono inclusi anche i processi riguardanti la produzione degli impianti della vigna, ovvero la palificazione e l'impianto idrico. L'occupazione e la trasformazione del terreno sono stati computati in questo gruppo.

Pre-produzione: questo gruppo riguarda i processi relativi alla fase di allevamento delle viti, ovvero lavorazioni, concimazioni e trattamenti fitosanitari che vengono svolti nel periodo compreso tra l'impianto e l'entrata in produzione della vigna.

Produzione dell'uva: riguarda la fase di coltivazione e considera lavorazioni, concimazioni e trattamenti fitosanitari che vengono svolti nel periodo compreso tra la vendemmia dell'annata precedente e la vendemmia dell'annata di riferimento.

Vinificazione: include i processi relativi alla trasformazione dell'uva in vino. In questo gruppo sono inclusi i prodotti enologici, le attrezzature di cantina e i lavaggi delle attrezzature. I consumi di energia elettrica sono stati computati interamente a questa fase, in quanto per le operazioni agronomiche e l'imbottigliamento non si utilizza energia elettrica.

Packaging: in questo gruppo vengono considerati l'imbottigliamento, l'inscatolamento e tutti i processi che dal vino sfuso portano al prodotto finito, pronto per la distribuzione e vendita sul mercato. Sono compresi i processi riguardanti la produzione di bottiglie di vetro, tappi di sughero, etichette e scatole di cartone. Il processo riguardante il trattamento dei rifiuti solidi fa parte di questo gruppo.

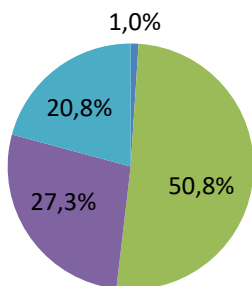
Nei grafici delle analisi di contributo, le percentuali relative all'impatto di ciascun gruppo sono approssimate alla prima cifra decimale. Per tale ragione, nonostante non sia stata considerata alcuna soglia di esclusione (*cut-off* = 0%), i gruppi con valori di contributo inferiori allo 0,1% non appaiono nei grafici.

3.3 AZIENDA "LA CASA DI SOPHIA"

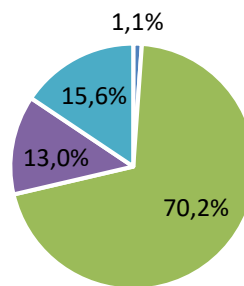
3.3.1 Vino Carignano

I grafici che seguono illustrano i risultati delle analisi di contributo, per ciascuna categoria di impatto considerata.

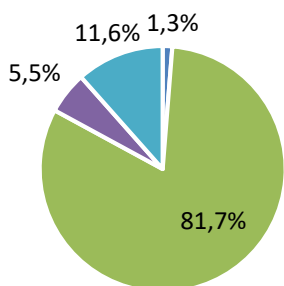
Cambiamento Climatico
1,83 kg CO₂ eq/0,75 L



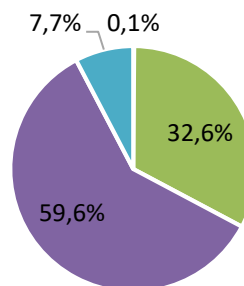
Acidificazione
1,72E-02 mol H⁺ eq/0,75 L



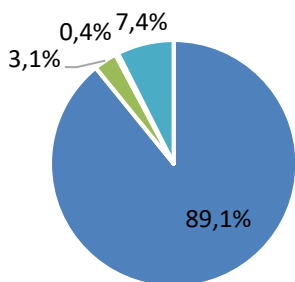
Eutrofizzazione terrestre
7,29E-02 mol N eq/0,75 L



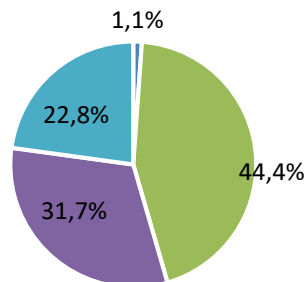
Uso dell'acqua
3,93E-01 m³ depriv./0,75L



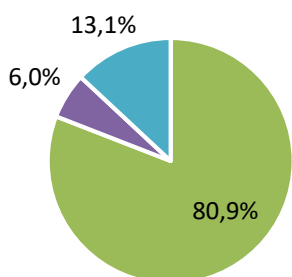
Uso del suolo
4,32E+02 Pt/0,75L



Impoverimento ris. fossili
2,29E+01 MJ/0,75 L



Impoverimento ris. minerali
8,11E-05 Kg Sb eq/0,75 L



- impianto vigneto
- pre_produzione
- produzione uva
- vinificazione
- packaging

Figura 6. Analisi di contributo del vino Carignano La Casa di Sophia.

Nella categoria di impatto **Cambiamento climatico** il gruppo più rappresentativo è quello riguardante la produzione dell'uva (50,8%). All'interno di questo gruppo, le lavorazioni del terreno per il sovescio e l'aratura, effettuate da contoterzisti, da sole raggiungono il 29,1% dell'impatto totale. Le operazioni di concimazione e letamazione contribuiscono per il 16,8%, e i trattamenti fitosanitari per il 4,9%. Il gruppo 'vinificazione' (27,3%) racchiude al suo interno il processo riguardante i consumi di energia elettrica che considerato singolarmente rappresenta il 24,3% dell'impronta carbonica totale. Nel gruppo 'packaging' (20,8%), il processo più impattante è la produzione della bottiglia di vetro che, da sola, rappresenta il 14,7% dell'impatto totale. La produzione di cartone per le scatole incide, invece, per il 2,7%. L'impianto del vigneto contribuisce per l'1% dell'impatto totale: il contributo di questo gruppo è dato per la sua interezza dai lavori di movimento terra (scasso) per l'impianto della vigna.

Nella categoria di impatto **Acidificazione** il gruppo più rilevante è sempre la produzione dell'uva (70,2%) in cui la letamazione svolta con cadenza biennale rappresenta, da sola, il 33,7% dell'impatto totale. Le operazioni di sovescio contribuiscono per il 19,7% dell'impatto totale, i trattamenti fitosanitari per l'8,3% e le concimazioni per l'8,4%. Il packaging contribuisce per il 15,6% dell'impatto totale. All'interno di questo gruppo, la bottiglia di vetro rappresenta, da sola, il 9,2% dell'impatto totale. Il gruppo 'vinificazione' rappresenta il 13,0% dell'impatto totale e, al suo interno, i consumi elettrici costituiscono il 10,6% dell'impatto.

Il gruppo di processi più impattanti nella categoria **Eutrofizzazione terrestre** è la produzione dell'uva (81,7%), soprattutto a causa della concimazione ammendante (39%), della letamazione (27%) e dei trattamenti fitosanitari (4,1%). Anche le lavorazioni del terreno effettuate hanno un peso specifico rilevante, raggiungendo l'11,4%. La fase di packaging rappresenta l'11,6% dell'impatto in questa categoria. All'interno di questo gruppo, il processo più rilevante è la produzione del vetro (7,1%). La fase della vinificazione contribuisce per il 5,5%, soprattutto a causa del consumo di energia elettrica che, da sola, contribuisce per il 4,5%. Infine, la fase di impianto del vigneto contribuisce per l'1,3%, per via dei lavori di sistemazione del terreno.

Nella categoria di impatto **Uso del suolo** la fase più impattante riguarda l'impianto del vigneto (89,1%), in quanto è in questo gruppo di processi che è stata computata l'occupazione del suolo da parte della vigna. Il packaging contribuisce per il 7,4%, e, all'interno di questo gruppo, il processo più rilevante è la produzione del tappo di sughero (4,8%). La fase di produzione dell'uva impatta "solamente" per il 3,1%.

Nella categoria **Uso dell'acqua**, la fase più impattante, dato che il vigneto viene coltivato in assenza di irrigazione, è quella della vinificazione (59,6%). Infatti, il 43% dell'impatto totale è dovuto proprio ai lavaggi delle attrezzature di cantina. In questo gruppo è compresa la produzione dell'energia elettrica, che impatta per il 13,1%. La fase di produzione dell'uva rappresenta il 32,8% dell'impatto totale, per via dell'acqua utilizzata nei trattamenti fitosanitari (13,4%). Nel gruppo 'packaging' (7,7%), il processo più rilevante è la produzione del cartone (4,6%).

Per la categoria **Impoverimento delle risorse fossili** il gruppo più impattante è la produzione dell'uva con un contributo pari al 44,4% dell'impatto totale. Tale contributo è dovuto per la quasi totalità al consumo di gasolio per le varie operazioni colturali. Segue il gruppo 'vinificazione', con un contributo del 31,7%, al cui interno sono computati i consumi di energia elettrica (28,3%). Il gruppo 'packaging' rappresenta il 22,8%, per via della produzione delle bottiglie (15,7%), delle scatole di cartone (3%) e delle etichette (0,1%). La fase di impianto del vigneto contribuisce per l'1,1%, a causa del consumo di carburante per i lavori di sistemazione del terreno.

Per quanto riguarda la categoria **Impoverimento delle risorse minerali** il gruppo più impattante è la produzione dell'uva, con l'80,9% dell'impatto totale. Il 66,6% dell'impatto totale è dato dalle lavorazioni del terreno (effettuate da contoterzisti). Tuttavia, questo risultato è condizionato dal fatto che nel relativo dataset Ecoinvent (costruito facendo riferimento a macchinari di grosse dimensioni e con elevata superficie

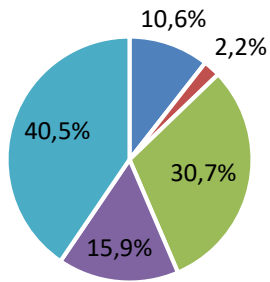
dominabile) una quota dell'acciaio utilizzato per la produzione del macchinario viene computata sistematicamente per ogni lavorazione. Il gruppo 'packaging' impatta per il 13,1%, a causa dell'utilizzo della produzione della bottiglia di vetro (10%). Infine, la fase di vinificazione contribuisce per il 6%, in quanto in questo gruppo è considerato il consumo di energia elettrica che, da solo, vale il 4% dell'impatto totale.

3.4 AZIENDA CANTINE GABRIELE PALMAS

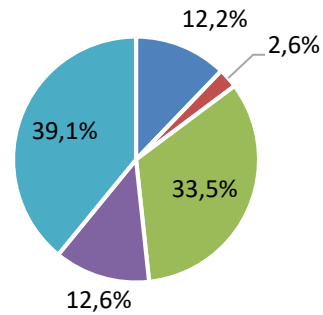
3.4.1 Vino Vermentino di Sardegna

I seguenti grafici illustrano i risultati dell'analisi di contributo, per ciascuna categoria di impatto.

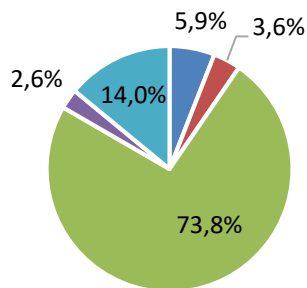
Cambiamento Climatico
1,12 kg CO₂ eq/0,75L



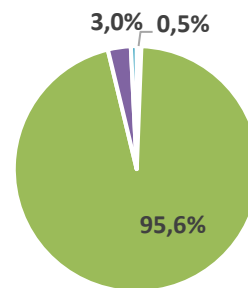
Acidificazione
8,44E-03 mol H⁺ eq/0,75L



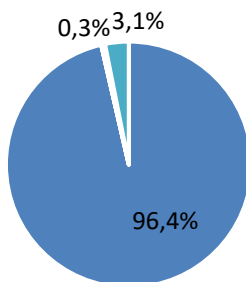
Eutrofizzazione terrestre
7,38E-02 mol N eq/0,75L



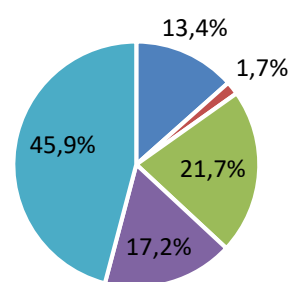
Uso dell'acqua
6,53 m³ depriv./0,75L



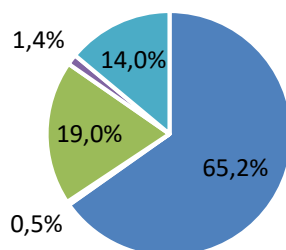
Uso del suolo
6,06E+02 Pt/0,75L



Impoverimento ris. fossili
1,39E+01 MJ/0,75L



Impoverimento ris. minerali
7,82E-05 kg Sb eq/0,75L



- impianto vigneto
- pre_produzione
- produzione uva
- vinificazione
- packaging

Figura 7. Analisi di contributo del vino Vermentino di Sardegna dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

Nella categoria **Cambiamento climatico** il gruppo di processi più impattante è il packaging (40,5%), nel quale troviamo la bottiglia di vetro (29,3%), la scatola di cartone (4,3%) e le capsule in PVC (1,7%). Nella azienda Cantine Gabriele Palmas, l'imbottigliamento del vino, affidato a una ditta esterna (linea mobile su camion), ha un contributo pari al 3,7% dell'impatto totale. La produzione dell'uva contribuisce al 30,7% dell'impatto totale ed il processo più impattante di questo gruppo è la concimazione che, da sola, rappresenta il 22,8% dell'impatto totale. Risultano rilevanti anche gli impatti della concimazione nella fase di pre-produzione che, da sola, vale il 2,2% dell'impatto totale. La fase di vinificazione contribuisce per il 15,9%, in quanto comprende il consumo di energia elettrica che, da sola, rappresenta il 12,1% dell'impatto totale. Le attrezzature di cantina, invece, contribuiscono per l'1,9% dell'impatto totale. Infine, il gruppo 'impianto del vigneto' pesa per il 10,6%, soprattutto a causa della rilevanza della concimazione di fondo (7,1%). In questo gruppo, si evidenziano anche gli impianti del vigneto (3,5%) a causa della produzione dell'alluminio utilizzato nei pali di sostegno.

Anche nella categoria **Acidificazione** il gruppo di processi più il 'packaging' (39,1%), in cui la sola produzione della bottiglia di vetro rappresenta il 23% dell'impatto totale. La scatola di cartone contribuisce per il 3% e le capsule in PVC l'1,4%. L'imbottigliamento del vino rappresenta, invece, l'11,2% dell'impatto totale, a causa dei consumi di gasolio e delle emissioni del generatore utilizzato dalla linea mobile. La fase di campo descritta dal gruppo 'produzione dell'uva' vale il 33,5% dell'impatto totale. All'interno di questo gruppo, il processo più impattante risulta essere la concimazione (25%). Il diserbo vale l'1,5% dell'impatto totale e la quota di macchinari e attrezzature agricole il 2,2%. La fase di vinificazione rappresenta il 12,6% dell'impatto totale. Al suo interno, sono computati i consumi di energia elettrica dell'intera fase di cantina che, da soli, valgono l'8,1% dell'impatto complessivo. La fase di impianto del vigneto rappresenta il 12,6% dell'impatto totale, ed il processo più impattante di questa fase è la concimazione di fondo (9,7%). Rimane rilevante anche l'impatto degli impianti della vigna (2,5%), a causa della produzione di pali di alluminio.

La fase di campo espressa dal gruppo 'produzione dell'uva' (73,8%) è sicuramente la più impattante nella categoria di impatto **Eutrofizzazione terrestre**. In particolare, spicca la concimazione con il 71% dell'impatto totale. Il 'packaging' contribuisce per il 14% dell'impatto totale, a causa della produzione del vetro (8,5%), del cartone (1%) e al processo di imbottigliamento (4%). La fase di impianto del vigneto (5,9%) è caratterizzata, principalmente, dalla concimazione di fondo (5,3%). La fase di pre-produzione rappresenta il 3,6% dell'impatto totale. Infine, nella fase di vinificazione (2,6%) si evidenziano i consumi di energia elettrica (1,6%).

Nella categoria di impatto **Uso del suolo** il 96,4% dell'impatto complessivo è dovuto alla fase di impianto. Questo perché in questo gruppo è stata computata l'occupazione del suolo da parte della vigna. Inoltre, il 3,1% dell'impatto totale è attribuibile al 'packaging', nello specifico: 1,3% bottiglia di vetro; 0,8% scatole di cartone; 0,8% tappi di sughero.

Per quanto riguarda la categoria di impatto **Uso dell'acqua** il 95,6% dell'impatto complessivo è dovuto alla produzione dell'uva, in cui il 94% è rappresentato dall'acqua d'irrigazione (il restante 1,6% è attribuibile all'acqua di diluizione per i trattamenti fitosanitari e il diserbo). Il gruppo 'vinificazione' contribuisce per il 3%, a causa dei lavaggi delle attrezzature di cantina (2,6%).

Nella categoria **Impoverimento delle risorse fossili** il gruppo più impattante è quello del 'packaging' (46%), in cui la bottiglia di vetro rappresenta il 33%, le scatole di cartone il 5% e le capsule in PVC il 2%. Il secondo gruppo in ordine di rilevanza è la produzione dell'uva con il 22%. All'interno di quest'ultimo gruppo, il processo più impattante è la concimazione (11%). Il gruppo 'vinificazione' rappresenta il 17% del contributo totale, dovuto, soprattutto, al consumo di energia elettrica che, da solo, costituisce il 13,9% dell'impatto complessivo. Il gruppo riguardante l'impianto del vigneto rappresenta il 13% del contributo totale.

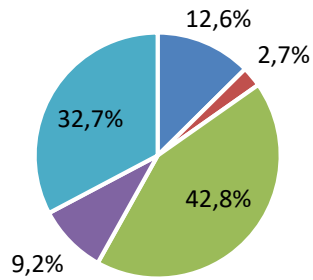
Nella categoria **Impoverimento delle risorse minerali** il gruppo con maggiore impatto riguarda l'impianto del vigneto (65%) dovuto, quasi per la sua interezza agli impianti del vigneto e, nello specifico, alla produzione

dei pali di alluminio. Il gruppo 'produzione dell'uva' (19%) impatta soprattutto in virtù della quota di produzione di macchinari e attrezzature (12%) e della concimazione (5%). Il gruppo 'packaging' impatta per il 14,0% e, al suo interno, i processi più rappresentativi sono le produzioni della bottiglia di vetro (12%) e della scatola di cartone (1%).

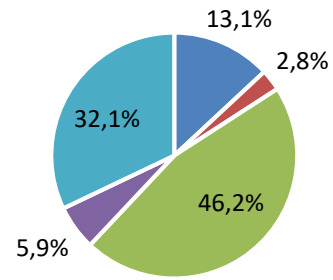
3.4.2 Vino Cannonau di Sardegna

I grafici seguenti riportano i risultati dell'analisi di contributo, per ciascuna categoria di impatto.

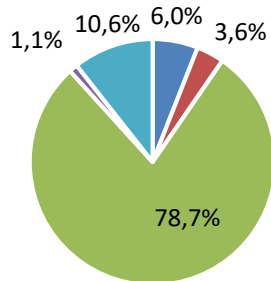
Cambiamento Climatico
1,77 kg CO2 eq/0,75L



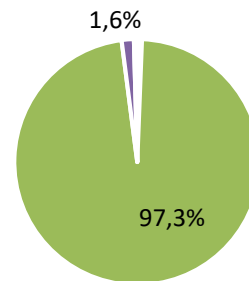
Acidificazione
1,48E-02 mol H+ eq/0,75L



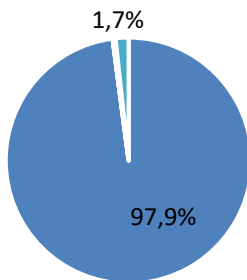
Eutrofizzazione terrestre
1,38E-01 mol N eq/0,75L



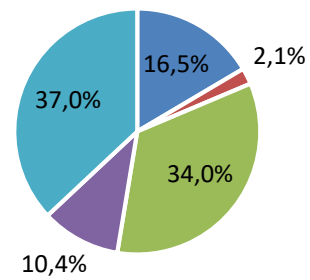
Uso dell'acqua
1,20E+01 m3 depriv./0,75L



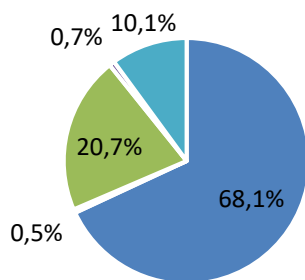
Uso del suolo
1,12E+03 Pt/0,75L



Impoverimento ris. fossili
2,12E+01 MJ/0,75L



Impoverimento ris. minerali
1,40E-04 kg Sb eq/0,75L



- impianto vigneto
- pre_produzione
- produzione uva
- vinificazione
- packaging

Figura 8. Analisi di contributo del vino Cannonau di Sardegna dell'azienda Cantine Gabriele Palmas.

Nella categoria di Impatto **Cambiamento Climatico** il gruppo di più impattante è la produzione dell'uva (43%), in cui il processo più rilevante è la concimazione che, da sola, vale il 27% dell'impatto totale. La fase di 'packaging' vale il 33% dell'impatto totale e, come nei casi precedenti, il processo più impattante di questo gruppo è la produzione della bottiglia di vetro (24%). La scatola di cartone vale il 3% e l'imbottigliamento del vino (su linea esterna) poco più del 2%. L'impianto del vigneto contribuisce per il 12,6%, e, al suo interno, il gruppo costituito da sistemazione del terreno e concimazione di fondo impatta per l'8,4%, mentre gli impianti costituiscono il restante 4,1%. La fase di cantina, rappresentata dal gruppo 'vinificazione', contribuisce per il 9% dell'impatto totale (di cui l'8% dovuto al consumo di energia elettrica). Infine, la fase di produzione rappresenta il 3% dell'impatto totale.

Anche nella categoria d'impatto **Acidificazione** la fase di campo, rappresentata dal gruppo 'produzione uva', è quella che contribuisce in maniera preponderante (46%). Il processo più rilevante di questa fase è la concimazione (27%). Il 'packaging' impatta per il 32%, principalmente a causa dalla produzione della bottiglia (17% circa) e dal suo trasporto (6%). Il processo di imbottigliamento contribuisce per il 6,4% dell'impatto totale. L'impianto del vigneto (13%) è caratterizzato dalle fasi di sistemazione del terreno e concimazione di fondo (10,4%) e messa in opera degli impianti (3%), che comprende la produzione dei pali di sostegno in alluminio. Infine, la fase di pre-produzione rappresenta il 2,4% dell'impatto totale.

Nella categoria d'impatto **Eutrofizzazione terrestre** la fase più rilevante è la produzione dell'uva (79%), in cui spicca il processo di concimazione che, da solo, vale il 71% dell'impatto totale. Il gruppo 'packaging' (10,6%) racchiude al suo interno il processo di produzione della bottiglia di vetro (6%), il trasporto (2%) e il processo di imbottigliamento su linea mobile (2%). L'impianto del vigneto contribuisce per il 6% dell'impatto complessivo. Il 5% dell'impatto di questo gruppo è dovuto alla sistemazione del terreno e alla concimazione di fondo. La fase di pre-produzione rappresenta il 3,6% dell'impatto totale. Nella fase di vinificazione (1%) il processo più rilevante è il consumo di energia elettrica (0,8%).

Nella categoria di impatto **Uso del suolo** il gruppo più rilevante è l'impianto del vigneto (97,9%), dovuto al fatto che l'occupazione del suolo è stata imputata a questo gruppo. Il 'packaging' contribuisce con il 2%, per via della bottiglia di vetro (0,8%), il tappo di sughero (0,4%) e la scatola di cartone (0,4%).

Per quanto riguarda la categoria di impatto **Uso dell'acqua**, il 97% dell'impatto complessivo è dovuto alla produzione dell'uva, in cui il 95,5% è rappresentato dall'acqua usata per l'irrigazione (il restante 1,8% è attribuibile all'acqua di diluizione per i trattamenti fitosanitari e il diserbo). Il gruppo vinificazione contribuisce per il 1,6%, soprattutto a causa dei lavaggi delle attrezzature di cantina (1,4%).

Nella categoria **Impoverimento delle risorse fossili** il gruppo più impattante è il 'packaging' (37%) che, al suo interno, racchiude la produzione della bottiglia di vetro (26%), del cartone (3%), delle capsule in PVC (1,4%) e il carburante consumato per l'imbottigliamento (3%). La produzione dell'uva (34%) è rilevante, soprattutto per via del gasolio consumato per le lavorazioni del terreno, la distribuzione dei concimi e dei fitofarmaci. L'impianto del vigneto contribuisce per il 16,5%. In questo gruppo, la fase di preparazione del terreno e concimazione di fondo rappresenta il 9,6%, mentre gli impianti del vigneto raggiungono il 7%. La fase di vinificazione contribuisce per il 10,4%, dato che al suo interno è compresa l'energia elettrica che, da sola, contribuisce al 9% dell'impatto totale. Le attrezzature di cantina rappresentano poco più dell'1% dell'impatto totale. Le lavorazioni del terreno, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari realizzati nei due anni precedenti l'entrata a regime del vigneto, contribuiscono per il 2%.

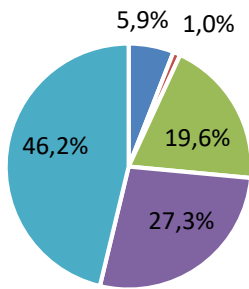
Nella categoria **Impoverimento delle risorse minerali** il gruppo con maggiore impatto è l'impianto del vigneto (68%), dovuto, quasi per la sua interezza agli impianti del vigneto e, nello specifico, alla produzione dei pali di alluminio utilizzati per il sostegno delle viti. Nella 'produzione dell'uva' (21%) il processo più rilevante è 'macchinari e attrezzature agricole' (7%), seguito dalla concimazione con il 5,5% dell'impatto totale. Il 'packaging' contribuisce per il 10% e i processi più impattanti di questo gruppo sono la bottiglia di vetro (9%) e la scatola di cartone (0,4%).

3.5 AZIENDE “VIRTUALI”

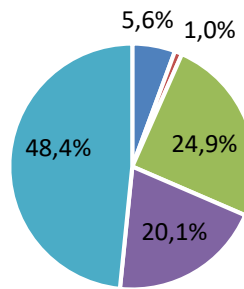
3.5.1 Vino Vermentino di Sardegna “virtuale”

I grafici che seguono illustrano i risultati delle analisi di contributo, per ciascuna categoria di impatto considerata.

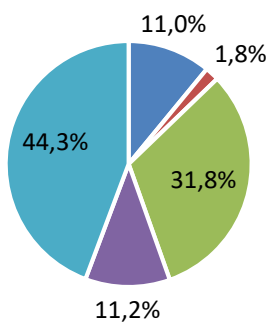
Cambiamento Climatico
1,02 kg CO2 eq/0,75L



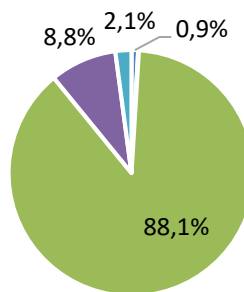
Acidificazione
7,71E-03 mol H+ eq/0,75L



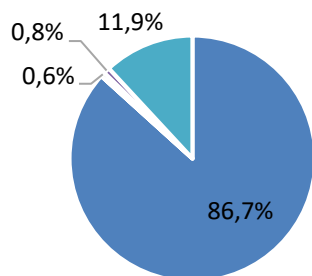
Eutrofizzazione terrestre
2,55E-02 mol N eq/0,75L



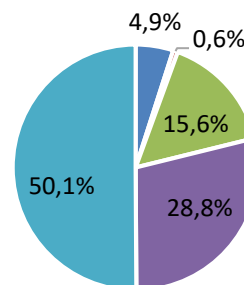
Uso dell'acqua
2,39 m3 depriv/0,75L



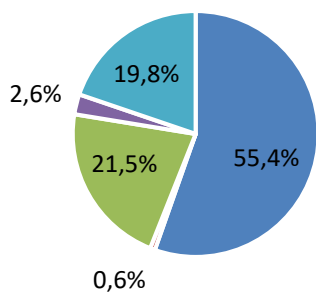
Uso del suolo
1,61E+02 Pt/0,75L



Impoverimento ris. fossili
1,32E+01 MJ/0,75L



Impoverimento ris. minerali
5,62E-05kg Sb eq/0,75L



- impianto vigneto
- pre_produzione
- produzione uva
- vinificazione
- packaging

Figura 9. Analisi di contributo del vino Vermentino di Sardegna "virtuale".

Nella categoria **Cambiamento climatico** il gruppo di processi più impattante è il packaging (46%), nel quale troviamo la bottiglia di vetro (32%), la scatola di cartone (5%) e le capsule in PVC (12%). Per questo vino “virtuale” è stato ipotizzato un processo di imbottigliamento manuale, dunque senza impatti rilevanti dal punto di vista del consumo energetico. Il 27% dell’impatto totale è imputabile alla ‘vinificazione’ che comprende il consumo di energia elettrica (da solo rappresenta il 23% dell’impatto totale). La quota di produzione ed il trasporto delle attrezzature di cantina vale il 2,5% dell’impatto totale. La fase di campo, costituita dalla produzione dell’uva, rappresenta per il 19,6% dell’impatto complessivo. All’interno di questo gruppo, le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti durante l’annata agraria di riferimento, valgono, complessivamente, il 15,6% dell’impatto totale. La quota di produzione ed il trasporto dei macchinari agricoli rappresenta il 3,2% dell’impatto totale. La fase di impianto del vigneto pesa il 6% e comprendente la preparazione del terreno (2%), i processi di concimazione e letamazione pre-impianto (2%), e gli impianti del vigneto (2%).

Nella categoria di impatto **Acidificazione** il gruppo di processi più rilevante è il ‘packaging’ (48,4%) con la produzione della bottiglia di vetro che, da sola, pesa il 25% dell’impatto totale. La produzione dell’uva contribuisce per il 25% e, in questa fase, le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari contribuiscono per il 21,4% dell’impatto totale. Il contributo della ‘vinificazione’ è pari al 20% dell’impatto complessivo e, al suo interno, troviamo il consumo di energia elettrica che, da solo, rappresenta il 14% dell’impatto totale. La quota di produzione e il trasporto delle attrezzature di cantina contribuisce per il 2,5% dell’impatto totale. La fase di impianto del vigneto (5,6%) è caratterizzata dai processi di sistemazione del terreno e concimazione di fondo (3%), e dalla messa in opera degli impianti che comprende la produzione dei pali di sostegno in alluminio (2%).

Anche per la categoria **Eutrofizzazione terrestre** il gruppo di processi più rilevante è il ‘packaging’ (44%), in cui il processo più rilevante è la produzione della bottiglia di vetro (24,5%) e il suo trasporto (14%). La fase di produzione dell’uva pesa il 32% e il processo più impattante è quello riguardante le lavorazioni del terreno, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti durante l’annata agraria di riferimento (30%). La fase di vinificazione contribuisce per l’11%, ed i processi più rilevanti riguardano l’energia elettrica (7,4%) e le attrezzature di cantina (1,6%). L’impianto del vigneto contribuisce per l’11% e il processo più impattante di questa fase è la letamazione pre-impianto che, da sola, vale quasi il 7% dell’impatto totale. Infine, le concimazioni, i trattamenti fitosanitari e le operazioni colturali svolti in fase di pre-produzione valgono insieme quasi il 2% dell’impatto totale.

Nella categoria di impatto **Uso del suolo** il gruppo più rilevante è l’impianto del vigneto (87%), visto che l’occupazione del suolo è stata imputata a questo gruppo. Il ‘packaging’ contribuisce per il 12%, per via della bottiglia di vetro (5%), del tappo di sughero (3%) e della scatola di cartone (3%).

Per quanto riguarda la categoria di impatto **Uso dell’acqua** l’88% dell’impatto è dovuto alla produzione dell’uva in cui l’86% degli impatti sono rappresentati dall’acqua d’irrigazione (il 2% è attribuibile all’acqua di diluizione per i trattamenti fitosanitari e il diserbo). Il gruppo ‘vinificazione’ contribuisce per il 9%, principalmente a causa dei lavaggi delle attrezzature di cantina (7%). Il consumo di energia elettrica rappresenta l’1% dell’impatto totale. Infine, il ‘packaging’ contribuisce per il 2% (scatole di cartone 0,8%, capsule in PVC 0,6%, tappo di sughero 0,3%, bottiglia di vetro 0,2%).

Nella categoria **Impoverimento delle risorse fossili** il gruppo più rilevante è il ‘packaging’ (50%) che, al suo interno, racchiude le produzioni della bottiglia di vetro (34,5%) e del cartone (5%). La ‘vinificazione’ contribuisce per il 28%, soprattutto a causa del consumo di energia elettrica in cantina (25%). La fase di produzione dell’uva (15,6%) è caratterizzata dagli impatti delle operazioni colturali svolte nell’anno di riferimento (11%). La fase di impianto del vigneto (5%) è caratterizzata dai processi riguardanti la sistemazione del terreno e la concimazione di fondo (2%), e la messa in opera degli impianti (3%).

Nella categoria **Impoverimento delle risorse minerali** il gruppo con maggiore impatto è l'impianto del vigneto (55,4%), dovuto, quasi per la sua interezza (54%), agli impianti del vigneto e, nello specifico, alla produzione dei pali di alluminio utilizzati per il sostegno delle viti. La fase di produzione dell'uva contribuisce per il 21,5%. In quest'ultimo gruppo, assume particolare importanza la quota di produzione dei macchinari agricoli utilizzati (14%). Il 'packaging' contribuisce per il 20% e, anche in questo caso, il processo che impatta maggiormente è la bottiglia di vetro (17%). La 'vinificazione' contribuisce per il 2,6%, e in questo gruppo assume rilevanza la quota di produzione delle attrezzature di cantina (1,5%).

3.5.2 Vino Cannonau di Sardegna "virtuale"

I grafici che seguono illustrano i risultati delle analisi di contributo, per ciascuna categoria di impatto considerata.

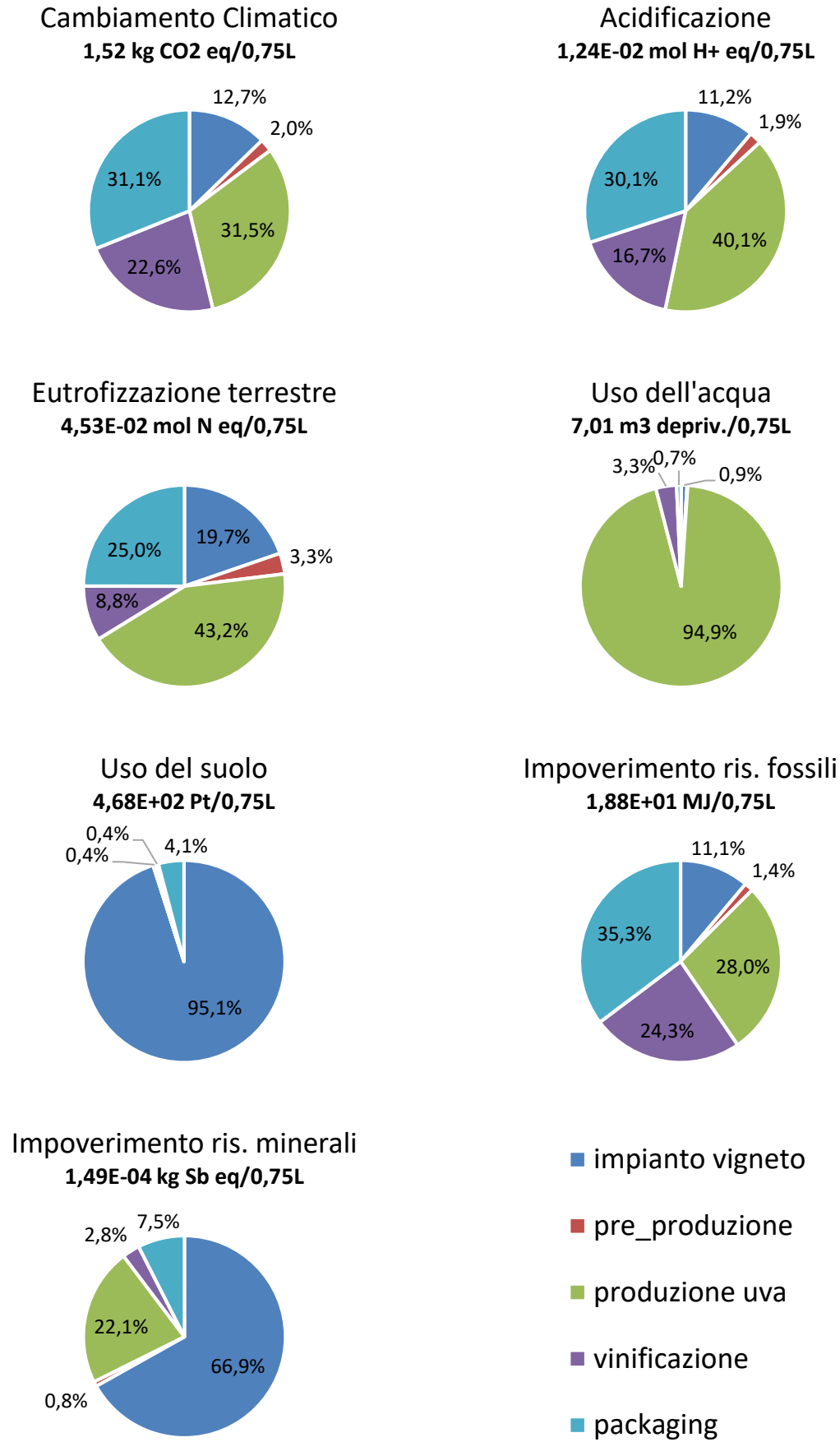


Figura 10. Analisi di contributo del vino Cannonau di Sardegna "virtuale".

Il gruppo di processi con la maggiore incidenza nella categoria di impatto **Cambiamento climatico** è la produzione dell'uva (31,5%). All'interno di tale gruppo le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti durante l'annata agraria di riferimento valgono quasi il 26% dell'impatto totale. La quota di produzione e il trasporto delle macchine agricole attribuite a questa fase vale il 4%. Il gruppo 'packaging' contribuisce per il 31%, ed i processi più impattanti sono la produzione della bottiglia di vetro (21,6%), il trasporto delle bottiglie (3,4%), la produzione del cartone (3,2%) e delle capsule in PVC (1,3%). La 'vinificazione' contribuisce per il 22,6%, e i due processi più impattanti di questa fase sono il consumo di energia elettrica (15%) e la quota di produzione ed il trasporto di attrezzature di cantina (6,5%). L'impianto del vigneto (13%) è caratterizzato dai processi di sistemazione del terreno e concimazione di fondo (4%), letamazione e concimazione pre-impianto (4,3%) e produzione degli impianti della vigna (4,4%). Infine, le concimazioni, i trattamenti fitosanitari e le operazioni colturali svolti in fase di pre-produzione valgono il 2% dell'impatto totale.

Nella categoria di impatto **Acidificazione** il gruppo di processi con la maggiore rilevanza è la fase di produzione dell'uva (40%). All'interno di questo gruppo le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti durante l'annata agraria di riferimento valgono complessivamente il 36% dell'impatto totale, mentre la quota di produzione ed il trasporto delle macchine agricole attribuite a questa fase vale il 3%. Il 'packaging' contribuisce per il 30%, e i processi più impattanti di questa fase sono la produzione della bottiglia di vetro (15,4%), il suo trasporto (11%) e la produzione del cartone (2%). La fase di vinificazione contribuisce per il 17% dell'impatto totale, e i due processi più impattanti di questa fase sono il consumo di energia elettrica (9%) e la quota di produzione e il trasporto delle attrezzature di cantina (6,5%). La fase di impianto del vigneto (11%) è caratterizzata dai processi di sistemazione del terreno e concimazione di fondo (6%), letamazione e concimazione pre-impianto (1%) e produzione degli impianti della vigna (4%). La fase di pre-produzione ovvero le concimazioni, i trattamenti fitosanitari e le operazioni colturali svolti in fase di pre-produzione rappresentano il 2% dell'impatto complessivo.

Per quanto riguarda l'**Eutrofizzazione terrestre** il gruppo con la percentuale di contributo più alta è la produzione dell'uva (43%), in cui le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti durante l'annata agraria di riferimento valgono, complessivamente, il 41% dell'impatto totale. La quota di produzione ed il trasporto delle macchine agricole attribuite a questa fase vale l'1,6% dell'impatto complessivo. Il 'packaging' contribuisce per il 25% e in questo gruppo spiccano il processo di produzione della bottiglia di vetro (14%) e il trasporto delle bottiglie (8,4%). La produzione del cartone vale poco meno del 2% dell'impatto totale. La fase di impianto vale il 20% dell'impatto complessivo, e il processo più rilevante in questo gruppo riguarda la letamazione pre-impianto che, da sola, vale il 12% dell'impatto totale. La fase di vinificazione impatta per circa il 9%, e in questo gruppo sono computati l'energia elettrica (4%) e la quota di attrezzature della cantina (3,6%). Le operazioni colturali, le concimazioni e i trattamenti fitosanitari svolti nella fase antecedente all'entrata in produzione della vigna, contribuiscono per il 3,3% dell'impatto totale.

Per quanto riguarda l'**Uso del suolo** il 95,5% del contributo è dato dal gruppo di processi costituenti l'impianto del vigneto, in quanto l'occupazione del suolo è imputata a questo gruppo. Il 'packaging' vale il 4%, per via della produzione della bottiglia di vetro (2%), del tappo di sughero (1%) e del cartone (1%).

Nella categoria di impatto **Uso dell'acqua** il maggiore contributo è dato dalla fase di produzione dell'uva (95%), guidato dall'irrigazione che, da sola, vale il 93% dell'impatto totale. I restanti processi di questo gruppo valgono l'1,6%, a causa del consumo di acqua per la diluizione dei prodotti fitosanitari e dei diserbanti. La fase di vinificazione contribuisce per il 3,3%, soprattutto, per via dei lavaggi delle attrezzature di cantina che rappresentano il 2,6% dell'impatto totale.

Nella categoria **Impoverimento delle risorse fossili** il gruppo più impattante è quello del packaging (35%) che al suo interno racchiude la produzione della bottiglia di vetro (24%) e del cartone (3,6%). La fase di produzione dell'uva (28%) è caratterizzata dagli impatti delle operazioni colturali svolte nell'anno di riferimento (21%) e

dalla quota di produzione e trasporto dei macchinari agricoli (4%). Anche il processo di irrigazione contribuisce sensibilmente (3%) per via dell'energia utilizzata per movimentare l'acqua negli acquedotti. La 'vinificazione' contribuisce per il 24%, soprattutto per via del consumo di energia elettrica utilizzata in cantina (17,5%). La quota di produzione e trasporto delle attrezzature di cantina vale il 6%. La fase di impianto del vigneto (11%) è caratterizzata dai processi comprendenti la sistemazione del terreno e la concimazione di fondo (5%) e dalla messa in opera degli impianti (6%), processo che comprende al suo interno la produzione di alluminio per i pali di sostegno.

Nella categoria **Impoverimento delle risorse minerali** la fase di maggiore rilievo è l'impianto del vigneto (67%), dovuto, quasi interamente, agli impianti (65%) e, nello specifico, alla produzione dei pali di alluminio utilizzati per il sostegno delle viti. La fase di produzione dell'uva contribuisce per il 22%. In questo gruppo, assumono particolare importanza i processi riguardanti la quota di produzione dei macchinari agricoli (9,4%) e la concimazione (12,6%). Il 'packaging' contribuisce per il 7,5% e, anche in questo caso, il processo che impatta maggiormente è la bottiglia di vetro con il 6,5% di contributo. La 'vinificazione' contribuisce per il 3% e, all'interno di questo gruppo, assume rilevanza la quota di produzione delle attrezzature di cantina (oltre il 2%).

3.6 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Dalla comparazione dei risultati fra i due vini dell'azienda **Cantine Gabriele Palmas** e i due corrispettivi vini **"virtuali"** emerge come la resa produttiva in uva (kg/ha) e, conseguentemente, la resa in vino (L/ha), siano dei fattori determinanti. Nella tabella di sotto (Tabella 13) si può notare come le rese in uva e in vino, rispetto all'unità di superficie, siano sempre maggiori nei vini "virtuali": mediamente, del 70% per il Vermentino e di circa il 52% per il Cannonau. È da rimarcare, inoltre, che le rese di trasformazione di uva in vino sono simili per il Vermentino (attorno al 67% in entrambe i casi) ma non per il Cannonau (70% per Cantine Gabriele Palmas, 68% per il vino "virtuale").

	Vermentino di Sardegna		Cannonau di Sardegna	
	<i>Cantine Gabriele Palmas</i>	<i>"virtuale"</i>	<i>Cantine Gabriele Palmas</i>	<i>"virtuale"</i>
Uva (kg/ha)	3.300	10.888	1.582	3.261
Vino (L/ha)	2.171	7.404	1.107	2.217

Tabella 13. Rese in uva e in vino, per unità di superficie, dei vini Vermentino e Cannonau di Sardegna Cantine Gabriele Palmas e "virtuali".

È evidente che, a parità di input della fase di produzione dell'uva (lavorazioni del terreno, concimazioni, trattamenti fitosanitari, irrigazione, ecc.), le prestazioni ambientali si riducono all'aumentare della quantità di vino prodotto. Questo fatto si osserva chiaramente nei grafici dell'analisi di contributo per la categoria di impatto Cambiamento climatico (Figure 7, 8, 9, 10): la fase di produzione dell'uva rappresenta il 31% nel Vermentino delle Cantine Gabriele Palmas ed il 19,6% in quello "virtuale", ed ancora 43% nel Cannonau Cantine Gabriele Palmas contro 31,5% nel Cannonau "virtuale". Lo stesso risultato si può osservare nell'analisi di contributo della categoria di impatto Acidificazione.

L'influenza delle rese di produzione è fondamentale anche per la categoria di impatto Uso dell'acqua. In questo caso, il processo più rilevante è l'irrigazione che contribuisce con percentuali comprese fra l'86% e il 96%. Il volume di adacquamento è superiore per i vini "virtuali" (450 m³/ha) rispetto ai vini Cantine Gabriele Palmas (400 m³/ha). Nonostante i volumi d'acqua d'irrigazione leggermente inferiori, i due vini Cantine Gabriele Palmas hanno un'impronta idrica superiore rispetto ai corrispettivi vini "virtuali": +173% per il Vermentino e +72% per il Cannonau, proprio a causa della minore resa produttiva.

Analoghe differenze dovute alla resa in vino per unità di superficie si possono riscontrare nella categoria di impatto Impoverimento delle risorse minerali. Dall'analisi di contributo emerge come la fase più rilevante, per tutti i vini, sia l'impianto del vigneto in cui spicca la produzione dei pali di alluminio: il contributo di questa fase è del 64% nel Vermentino Cantine Gabriele Palmas contro il 58% nel Vermentino "virtuale" (68% e 64%, rispettivamente, nel Cannonau Cantine Gabriele Palmas e "virtuale"). La tipologia di palo, il tipo alluminio, la densità per ettaro sono gli stessi per tutti i vini, come nei casi precedenti è la produzione di vino per unità di superficie che determina le differenze di prestazioni ambientali riferite ad una bottiglia.

Un risultato inverso si ha nel consumo unitario di energia elettrica (kWh/L di vino): 0,32 kWh/L nei due vini Cantine Gabriele Palmas, 0,55 kWh/L nei vini "virtuali". Ciò fa sì che gli impatti dovuti alla produzione di energia siano maggiori nei vini "virtuali" rispetto ai vini Cantine Gabriele Palmas. Tuttavia, le emissioni di CO₂eq per bottiglia di vino sono maggiori nei vini Cantine Gabriele Palmas rispetto ai corrispettivi vini "virtuali" (Tabella 11), rispettivamente, del 10% per il Vermentino e del 16% per il Cannonau. Questo avviene anche nella categoria di impatto Acidificazione (gli impatti dei vini Cantine Gabriele Palmas sono maggiori del 9% nel Vermentino e dell'1% nel Cannonau). Tali risultati dimostrano come nella determinazione dell'impronta carbonica e di acidificazione, i vini Cantine Gabriele Palmas siano avvantaggiati da un minore consumo unitario di energia elettrica ma penalizzati dalle basse rese in vino per unità di superficie.

La concimazione è il principale fattore discriminante tra le prestazioni nella categoria di impatto Eutrofizzazione terrestre dei vini Cantine Gabriele Palmas e corrispettivi vini “virtuali”. Gli impatti dei vini Cantine Gabriele Palmas sono maggiori rispetto a quelli dei vini “virtuali” del 189% per il Vermentino e del 204% per il Cannonau. La principale differenza tra il Vermentino Cantine Gabriele Palmas ed il Vermentino “virtuale” è data dalle emissioni unitarie di NH₃ in aria, rispettivamente pari a 16 kg NH₃/ha e 3,7 kg NH₃/ha. A sua volta, tale differenza è dovuta alla tipologia e alla dose di concime utilizzato: nell’azienda Cantine Gabriele Palmas sono stati distribuiti 400 kg/ha di fertilizzante ternario contro i 185 kg/ha di nitrato ammonico dell’azienda “virtuale”. Il ‘delta’ fra le intensità di emissioni di NH₃ è ancora più grande tra i due vini Cannonau. Infatti, per il Cannonau Cantine Gabriele Palmas si ha lo stesso quantitativo di concime per ettaro (400 kg) e la stessa intensità di emissioni (16 kg NH₃/ha) del Vermentino della stessa azienda, mentre nel Cannonau virtuale si ha un apporto di concime inferiore rispetto al Vermentino virtuale (111 kg/ha di nitrato ammonico) e, quindi, intensità di emissioni di NH₃ più bassa (2,2 kg NH₃/ha).

La costruzione del modello LCA dei vini spiega le differenze tra vini Cantine Gabriele Palmas e vini “virtuali” per quanto riguarda l’Uso del suolo: nei vini Cantine Gabriele Palmas oltre all’ “occupazione del suolo” (vigneto) è stata considerata la “trasformazione del suolo”, da pascolo naturale a vigneto. Di fatto, in base alle PEFCR per il settore viti-vinicolo, la trasformazione del suolo andrebbe considerata solo se avvenuta nei 20 anni precedenti il periodo della raccolta dati. Per contro, la trasformazione del suolo non è stata considerata nei vini “virtuali”, in quanto si è ipotizzato che i suoli siano stati dedicati da oltre 20 anni alla coltivazione dell’uva come accade, tradizionalmente, nella viticoltura sarda. Il computo della trasformazione del suolo, unito alle produzioni di vino più esigue, fa sì che i vini Cantine Gabriele Palmas abbiano degli impatti superiori rispetto ai corrispettivi “vini virtuali”: +277% per il Vermentino e +139% per il Cannonau.

Dalla comparazione di due vini prodotti dalla stessa azienda, ovvero il Vermentino di Sardegna e il Cannonau di Sardegna **Cantine Gabriele Palmas**, la resa in litri di vino per unità di superficie emerge ancora come il principale fattore discriminante nella differenza di prestazioni ambientali tra i due vini. L’azienda utilizza gli stessi input per entrambi i vini, sia per quanto riguarda i mezzi di produzione (stesso numero di ore di lavorazioni, stessi quantitativi di fertilizzanti, anticrittogamici ed erbicidi per unità di superficie) sia per quanto riguarda gli apporti idrici per ettaro e i consumi unitari di energia elettrica. Le differenze negli input della fase di vinificazione dei due vini sono minime, riguardano solo alcuni ingredienti enologici (ad esempio, la perlite, usata come coadiuvante di filtrazione nel Vermentino, che incide sul risultato finale per meno del 2%). I risultati, per tutte le categorie di impatto (Tabella 11), mostrano prestazioni ambientali migliori per il Vermentino di Sardegna. L’analisi di contributo evidenzia come le fasi di produzione che racchiudono processi i cui impatti vengono ripartiti sulla produzione di vino (impianto, pre-produzione, produzione dell’uva) abbiano una rilevanza percentuale maggiore nel Cannonau rispetto al Vermentino, e, di conseguenza, le fasi in cui gli impatti sono disaccoppiati dalla produzione (vinificazione e packaging) hanno una rilevanza percentuale maggiore nel Vermentino rispetto al Cannonau.

Il vino **Carignano**, per le peculiarità proprie dell’azienda La casa di Sophia (piccole dimensioni del vigneto, metodo di produzione biologico, assenza di irrigazione e di impianti (su tutti, palificazione e sistema d’irrigazione) merita delle considerazioni a parte rispetto agli altri vini oggetto di studio. Gli impatti ambientali del Carignano sono più alti rispetto agli altri vini analizzati, nelle categorie di impatto Cambiamento Climatico, Acidificazione e Uso delle risorse minerali (Tabella 11). Un aspetto da considerare, a questo proposito, è la bassa produzione di uva (e, quindi, di vino) nell’annata di riferimento, rispetto alla media aziendale (vedi paragrafo 3.2.1). Tuttavia, le basse rese produttive non giustificano da sole le prestazioni ambientali dell’azienda. Per quanto sia bassa, la produzione è, comunque, molto vicina a quella del Cannonau di Sardegna “virtuale”, che ha ottenuto impatti minori.

Una delle peculiarità dell’azienda La casa di Sophia è l’affidamento di tutte le operazioni colturali in contoterzi. Per modellizzare tali lavorazioni sono stati creati datasets specifici a partire da quelli Ecoinvent. Questi ultimi, infatti, hanno come unità funzionale la superficie lavorata, mentre il dato primario fornito

dall'azienda è il consumo totale di gasolio per lavorazione. Pertanto, i datasets Ecoinvent sono stati modificati in modo che tutti gli impatti fossero riferiti al volume di gasolio consumato. Il dataset originale, inoltre, attribuisce una quota di produzione del macchinario ad ogni ettaro di superficie lavorata. Pertanto, anche questo parametro è stato modificato riportando tale quota non più alla superficie unitaria (1 ha) ma alla superficie effettiva del vigneto de La casa di Sophia. È stata, poi, effettuata un'analisi di sensibilità per verificare come variassero i risultati finali utilizzando tre diversi datasets (scenario): 1) senza la quota di produzione del macchinario; 2) con la quota di produzione del macchinario rapportata alla superficie dell'azienda; 3) con la quota di produzione del macchinario rapportata a 1 ha di superficie. I risultati di tale analisi sono riportati nella tabella seguente (Tabella 14):

Categoria di impatto	Unità di misura	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Cambiamento climatico	kg CO ₂ eq	1,34	1,83	2,27
Acidificazione	mol H ⁺ eq	1,44E-02	1,72E-02	1,96E-02
Eutrofizzazione terrestre	mol N eq	6,84E-02	7,29E-02	7,69E-02
Uso del suolo	Pt	4,19E+02	4,32E+02	4,43E+02
Uso dell'acqua	m ³ depriv.	3,16E-01	3,93E-01	4,63E-01
Impoverimento delle risorse fossili	MJ	1,75E+01	2,29E+01	2,77E+01
Impoverimento delle risorse minerali	kg Sb eq	1,79E-05	8,11E-05	1,38E-04

Tabella 14. Analisi di sensibilità per il vino Carignano effettuata considerando tre tipi di datasets per le operazioni colturali in contoterzi: Scenario 1, quota di produzione del macchinario esclusa; Scenario 2, quota di produzione del macchinario rapportata alla superficie effettiva del vigneto La casa di Sophia; Scenario 3, quota di produzione del macchinario rapportata alla superficie di 1 ha.

Dalla Tabella 14 è possibile osservare come la scelta del dataset per le operazioni colturali influenzi il risultato finale delle prestazioni ambientali del vino, in tutte le categorie di impatto. Per il vino Carignano La Casa di Sophia sono stati utilizzati i datasets che includevano la quota di produzione del macchinario rapportandola alla superficie dell'azienda (Scenario 2). Per gli altri vini sono stati utilizzati i datasets che escludevano la quota di produzione del macchinario dato che le operazioni colturali venivano effettuate con macchinari propri e la quota di produzione è stata calcolata a parte, in base alla dotazione dell'azienda. Tale calcolo non è stato possibile nel caso dell'azienda La casa di Sophia, a causa della mancanza di dati primari sui macchinari utilizzati dai contoterzisti.

Secondo le analisi di contributo per la categoria di impatto Cambiamento climatico la fase produzione dell'uva è quella che contribuisce maggiormente all'impatto totale del vino Carignano (51%), con percentuali superiori a quelle di tutti gli altri vini. Analizzando il contributo dei vari processi per questa categoria di impatto, si nota che le operazioni colturali incidono per il 29%, proprio a causa della particolarità dei datasets sopradescritti. Anche le operazioni di concimazione ammendante e letamazione sono rilevanti a causa degli impatti dovuti alla produzione dei macchinari utilizzati per la loro distribuzione. Per contro, la fase di packaging (21%) è meno rilevante rispetto agli altri vini (oltre il 40% per i vini bianchi, oltre il 30% per i vini rossi). Ciò grazie all'uso di una bottiglia più leggera rispetto a quella utilizzata per gli altri vini rossi (360 g contro 560 g).

Quanto descritto sopra riguardo la quota di produzione dei macchinari vale anche per la categoria Impoverimento delle risorse minerali. Nonostante l'assenza di palificazione (produzione dell'alluminio) gli impatti del Carignano La Casa di Sophia sono più elevati di quelli degli altri vini. Nei grafici dell'analisi di contributo si può notare che la fase di produzione dell'uva, nella quale sono computate le operazioni colturali in contoterzi, impatta per l'81% nel Carignano, mentre per tutti gli altri vini varia tra il 19% e il 22%.

Il vino Carignano La casa di Sophia è fra tutti i vini analizzati quello che ha l'impronta idrica più bassa. Questo dato è facilmente spiegabile con l'assenza di irrigazione, che nelle analisi di contributo della categoria di impatto Uso dell'acqua rappresenta, negli altri vini, tra l'85% e il 95% dell'impatto totale. Di fatto, nel caso

del Carignano il contributo maggiore è dato dalla fase di vinificazione, dovuto al quantitativo d'acqua utilizzato per i lavaggi delle attrezzature di cantina. Tale quantitativo è stato, però, stimato in base a dati di letteratura (paragrafo 2.3) per tutti i vini analizzati. Pertanto, non è possibile effettuare confronti tra i consumi idrici dei differenti sistemi di vinificazione analizzati.

Per quanto riguarda l'Uso del suolo, il vino Carignano La Casa di Sophia è quello che riporta i valori più bassi in assoluto. Da un confronto con il vino Cannonau "virtuale", il più vicino come per produzione unitaria di vino, risultano valori abbastanza simili (-7% per il Carignano). Occorre ribadire che, rispetto ai vini Cantine Gabriele Palmas, nell'azienda La Casa di Sophia non è stata considerata la trasformazione del suolo, in quanto il vigneto è stato impiantato oltre 20 anni or sono (nel 1970, per l'esattezza).

Il raffronto tra i consumi unitari di energia elettrica spiega i valori più alti nella categoria di impatto Impoverimento delle risorse fossili, del Carignano rispetto agli altri vini. Il consumo di energia si attesta nel Carignano a 0,93 kWh/L contro i 0,32 kWh/L dei vini Cantine Gabriele Palmas e i 0,55 kWh/L dei vini "virtuali". Il consumo più alto potrebbe essere attribuito alle dimensioni aziendali inferiori, all'impianto di condizionamento della cantina o anche al refrigeratore utilizzato durante la vinificazione. Di fatto, nonostante l'azienda La casa di Sophia abbia il mix energetico meno impattante (è l'unica ad autoprodurre energia tramite pannelli fotovoltaici) il consumo unitario più alto fa sì che la prestazione ambientale sia peggiore rispetto agli altri vini.

I risultati per il **vino benchmark europeo** riportati nelle PEFCR di settore (Tabella 15), offrono ulteriori spunti di riflessione (seppure con tutti i 'distinguo' del caso!) per l'interpretazione dei risultati ottenuti negli studi LCA GA-VINO. Le percentuali descritte di seguito per indicare lo scostamento tra i risultati dei vini analizzati in GA-VINO e il Benchmark PEFCR sono state ottenute applicando la seguente formula:

$$V_{\%} = \frac{V_V - V_{PEF}}{V_{PEF}} \cdot 100$$

Dove:

$V_{\%}$ = scostamento percentuale tra il valore del vino GA-VINO e quello del Benchmark PEFCR.

V_V = valore ottenuto dal vino GA-VINO per una determinata categoria di impatto.

V_{PEF} = valore Benchmark PEFCR per una determinata categoria di impatto.

Per la categoria Cambiamento Climatico si può affermare che i risultati ottenuti in GA-VINO siano in linea con quelli del Benchmark PEFCR. In particolare, i maggiori scostamenti percentuali ($V_{\%}$) riguardano il Vermentino di Sardegna "virtuale" (-32%) e il vino Carignano (+22%).

Nella categoria Acidificazione si può notare come i valori dei due Vermentini Cantine Gabriele Palmas e "virtuale" siano i più vicini a quelli del Benchmark (rispettivamente, -1% e -10%) mentre i due vini Cannonau riportano percentuali superiori (+73% e +45%), dovute alle rese più basse rispetto ai Vermentini della stessa azienda. Anche in questo caso, il vino Carignano riporta lo scostamento maggiore (+101%), oltre che per le basse produzioni a causa della già citata 'anomalia' del dataset lavorazioni in contoterzi (infatti, la produzione dell'acciaio è un processo molto impattante in questa categoria).

Nella categoria di impatto Eutrofizzazione terrestre gli scostamenti tra i vini GA-VINO e il Benchmark PEFCR sono, invece, molto rilevanti. Mentre per i due vini "virtuali" lo scostamento di Vermentino (+3%) e Cannonau (+82%) sembra restituire percentuali in linea con il Benchmark, per i due vini Cantine Gabriele Palmas lo scostamento è decisamente maggiore (+198% per il Vermentino e +495% per il Cannonau). Come già descritto

nel confronto tra vini “reali” e vini “virtuali”, tale scostamento può essere attribuito alla differenza negli apporti di NH₃ relativi alla concimazione. In particolare, nel Cannonau questa differenza è enfatizzata dalla bassa resa produttiva.

Nella categoria di impatto l’Uso del suolo il Vermentino “virtuale”, che ha la resa più alta e per il quale è stata considerata la sola “occupazione del suolo”, ha il valore più vicino al Benchmark PEFCR (scostamento di appena il +2%). L’ampio scostamento del Cannonau “virtuale” (+198%) è dovuto, come detto in precedenza, alle rese più basse. Mentre nei due vini Cantine Gabriele Palmas lo scostamento rispetto ai valori del Benchmark PEFCR è influenzato anche dall’impatto della “trasformazione del suolo” (Vermentino +286%, Cannonau +612%). Lo scostamento del vino Carignano (+175%) è, principalmente, imputabile alla bassa resa di produzione.

Per quanto riguarda la categoria di impatto Impoverimento delle risorse fossili lo scostamento con il Benchmark PEFCR varia dal -24% del Vermentino “virtuale” al +31% del Carignano. In generale, i risultati ottenuti in GA-VINO si possono considerare allineati ai valori del Benchmark PEFCR, tenendo conto delle differenze tra le aziende, già descritte nel confronto tra i vini “reali” e “virtuali”.

Categoria di impatto	Valore
<i>Cambiamento climatico</i>	1,50 kg CO ₂ eq
<i>Acidificazione</i>	8,54E-03 mol H+ eq
<i>Eutrofizzazione terrestre</i>	0,0248 mol N eq
<i>Uso del suolo</i>	157 Pt
<i>Uso dell’acqua</i>	0,88 m ³ depriv.
<i>Impoverimento delle risorse fossili</i>	17,5 MJ
<i>Impoverimento delle risorse minerali</i>	1,51E-05 kg Sb eq

Tabella 15. Impatti ambientali, esclusa la fase d’uso, del vino benchmark delle PEFCR (CEEV, 2018).

Al fine di confrontare i risultati ottenuti in GA-VINO con quelli di analoghi lavori presenti nella **letteratura scientifica internazionale**, si sono considerati, di seguito, alcuni studi assimilabili rispetto all’ubicazione geografica delle aziende e alla tipologia di vino.

L’impronta carbonica di una bottiglia da 0,75 L di Vermentino di Sardegna stimata dalla Benedetto (2013) in un’azienda di 600 ha e da Fusi e co-autori (2014) in un’azienda di 550 ha, è simile a quella stimata per i vini analizzati in GA-VINO, con valori rispettivamente pari a 1,64 kg CO₂ eq (Benedetto, 2013) e 1,01 kg CO₂ eq (Fusi et al., 2014). Tali studi analizzano le prestazioni ambientali del Vermentino di Sardegna rispetto ad ulteriori categorie di impatto utilizzando, però, il metodo CML (Guinée et al., 2001) che considera *mid-point categories* differenti a quelle del metodo EF. Inoltre, i due studi utilizzano il database GaBi. Pertanto, non è possibile fare un confronto appropriato con i risultati ottenuti in GA-VINO per le categorie di impatto diverse dal Cambiamento Climatico.

Sul piano metodologico (unità funzionale, confini del sistema, metodo di valutazione, database, software LCA) gli studi GA-VINO sono, invece, molto vicini all’LCA condotta da Bonamente e co-autori (2016) su un vino rosso del nord Italia. L’impronta carbonica in questo vino (1,01 kg CO₂eq/0,75 L di vino) è risultata più bassa di quella dei due Cannonau di Sardegna e del Carignano. Le maggiori rese in uva (circa 10.000 kg/ha di uva) e, conseguentemente, il maggiore numero di bottiglie di vino per ettaro, spiegano, anche per il vino Vermentino di Sardegna Cantine Gabriele Palmas, le differenze di prestazioni riscontrate tra il vino rosso indagato da Bonamente e co-autori (2016) e i vini analizzati in GA-VINO.

Partendo dagli hotspot ambientali individuati negli studi LCA GA-VINO, è possibile definire un quadro di potenziali **soluzioni migliorative**. Tali soluzioni, potranno fornire delle linee guida generali che, opportunamente adattate alle specificità di ciascuna azienda, potranno orientare il miglioramento delle prestazioni ambientali dei vini oggetto di analisi. Gli interventi di miglioramento riguardano sia la gestione agronomica del vigneto sia gli aspetti gestionali e tecnologici della cantina.

In particolare, gli interventi agronomici dovrebbero puntare all’aumento della **resa in uva**. Il confronto tra i vini “reali” e quelli “virtuali”, così come quello tra i vini dell’azienda Cantine Gabriele Palmas, ha confermato che a rese più basse (espresse in litri di vino per unità di superficie) corrispondono sempre prestazioni ambientali peggiori. Tuttavia, occorre tenere presente che l’aumento della resa in uva potrebbe influire sulla qualità organolettica del vino, dunque sarà fondamentale avere attenta considerazione dei limiti consentiti dal mantenimento della qualità e del rispetto delle rese imposte dai diversi disciplinari di produzione. Nel caso dei vini analizzati in GA-VINO, le rese produttive sono state fortemente limitate dall’annata agraria poco favorevole, ed i margini di miglioramento delle rese sono senza dubbio molto ampi. Una serie di interventi orientati a prevenire gli attacchi dei patogeni e ad ottimizzare la fertilità del terreno (tecniche di agricoltura integrata), assieme all’irrigazione di soccorso costituiscono degli strumenti molto utili per la massimizzazione delle rese e il mantenimento della qualità desiderata.

In merito alla riduzione degli impatti ambientali dovuti alle **lavorazioni culturali**, è necessario, in primo luogo, optare per un corretto/razionale dimensionamento del parco macchine aziendale. I macchinari e, soprattutto, le trattrici andrebbero dimensionati in base a specifici parametri di riferimento, quali dimensioni dell’azienda (raffronto con superficie dominabile della trattrice), orientamento e pendenza delle superfici coltivabili, tessitura del terreno, forma di allevamento delle viti. Per i vigneti di piccole dimensioni è opportuno valutare l’affidamento delle lavorazioni a contoterzisti.

Inoltre, le emissioni dovute alla combustione del gasolio possono essere ridotte attraverso l’utilizzo di macchinari più moderni ed efficienti, che montino, per esempio, motori di tipo almeno EURO 5. È possibile ridurre i consumi di carburante anche tramite l’utilizzo di attrezzature combinate che consentano lo svolgimento di più operazioni contemporaneamente. Alcuni autori (Benedetto, 2013) suggeriscono l’utilizzo di biodiesel come mezzo per ridurre le emissioni di CO₂ o il ricorso a motori elettrici.

Un importante hotspot su cui è possibile intervenire riguarda le **concimazioni** del terreno. In particolare, per mitigare gli impatti dell’Eutrofizzazione sarebbe opportuno gestire oculatamente gli apporti di azoto al suolo. Tuttavia, apporti insufficienti di azoto potrebbero limitare la resa in uva. Pertanto, i quantitativi di azoto da distribuire dovrebbero essere stabiliti da uno specifico piano di concimazione, elaborato in base ad analisi del suolo e che tenga conto delle esigenze della pianta, delle asportazioni, delle perdite per lisciviazione, degli apporti naturali, ecc. Di seguito, si riportano alcune possibili tecniche per ridurre le emissioni dovute alle concimazioni, individuate da Colonna e co-autori (2008):

- fertirrigazione: permette una distribuzione di concime più dilazionata nel tempo e maggiormente adattabile alle esigenze fisiologiche delle colture. Questa tecnica permette la diminuzione delle dosi

di concime e, soprattutto, consente di minimizzare le perdite, in quanto non si distribuiscono eccessi di nutrienti che sono soggetti a lisciviazione o volatilizzazione;

- utilizzo di concimi a lento rilascio: i concimi “a lento rilascio” sono dei prodotti formulati per modulare la disponibilità dell’elemento nel tempo, in questo modo è possibile ridurre le perdite a cui le diverse forme azotate possono andare incontro;
- utilizzo dei concimi organici: la peculiarità di questo tipo di concimi risiede nel tempo richiesto per la mineralizzazione della sostanza organica che rende più efficiente l’utilizzazione dell’azoto da parte delle piante.

Ulteriori soluzioni migliorative possono derivare da tecniche della cosiddetta ‘agricoltura di precisione’ e dalla distribuzione di concimi con spandiconcime a rateo variabile. Modificando le dosi di concime, distribuito sulla base di mappe di prescrizione, è possibile intervenire sulle piante meno vigorose, con conseguente risparmio di fertilizzante.

La razionalizzazione dei consumi d’acqua per l’**irrigazione** porterebbe, indubbiamente, al miglioramento dell’impronta idrica dei vini analizzati. Tuttavia, anche in questo caso, occorre tenere presente che l’irrigazione si ripercuote sulla qualità del prodotto finito (a volte, uno stress idrico controllato consente di massimizzare la presenza di sostanze aromatiche che conferiscono particolari profumi e altre sfumature sensoriali di pregio al vino). Il quantitativo d’acqua e lo stadio fenologico della vite possono influire sulla dimensione degli acini e sul rapporto fra polpa e buccia, e tra zuccheri e acidi. L’efficienza dell’irrigazione può essere migliorata tramite l’uso di impianti di micro-irrigazione a goccia (già uso dall’azienda Cantine Gabriele Palmas) o di sub-irrigazione. L’agricoltura di precisione, inoltre, si focalizza spesso sull’ottimizzazione dell’irrigazione. L’irrigazione di precisione si basa sul principio di apportare l’esatta quantità di acqua richiesta dalla vite, calcolandola sulla base di parametri specifici quali il vigore vegetativo, la struttura del suolo ed il micro-clima del vigneto. Le moderne tecnologie di geo-referenziazione consentono la creazione di apposite mappe basate su immagini multispettrali, rilevate da drone o da satellite. Dall’elaborazione di tali immagini possono essere create mappe di irrigazione in cui ad ogni singola cella della mappa corrisponde una quantità di acqua da erogare in un preciso punto della vigna. Oltre all’utilizzo di droni o immagini satellitari è possibile rilevare il vigore vegetativo delle piante tramite dei sensori posizionati sulle foglie. Nell’ambito del progetto GA-VINO è stata studiata e sviluppata una sensoristica analogica che permette di rilevare in maniera diretta lo stress idrico della vite.

Per quanto riguarda i **consumi idrici** nella fase di cantina, occorrerebbe, innanzitutto, individuare le aree di intervento su cui è possibile ridurre/minimizzare l’utilizzo dell’acqua. Per fare in modo che questo avvenga è opportuna l’installazione di appositi contatori che permettano un monitoraggio continuo dei consumi idrici, processo per processo. Inoltre, per la pulizia dei pavimenti si potrebbe utilizzare acqua piovana, predisponendo un sistema per la raccolta delle acque piovane. Così come una pulizia a secco, per liberare le superfici da residui solidi prima del lavaggio con acqua, consentirebbe un ulteriore risparmio d’acqua. Per la pulizia delle attrezzature è auspicabile l’uso di idropulitrici ad alta pressione che, rispetto all’uso di manichette allacciate direttamente alla rete idrica, permettono una pulizia più rapida e profonda ed un notevole risparmio d’acqua, stimato attorno al 60%. In particolare, le tecniche che combinano alte pressioni e alte temperature possono portare a un risparmio dell’80% d’acqua (Novelli et al., 2014). Inoltre, è molto importante la scelta dei materiali: l’acciaio è di gran lunga il materiale che rende più agevoli le operazioni di pulizia e sanificazione e, di conseguenza, richiede un minore quantitativo d’acqua di lavaggio.

La scelta della **bottiglia di vetro** è uno dei fattori determinanti nella maggior parte delle categorie di impatto considerate. Gli interventi applicabili su questo hotspot si concentrano, principalmente, sulla riduzione del peso della bottiglia, dato che la sostituzione del vetro con altri tipi di materiali (tetrapak, lattine in alluminio, ecc.), non ha mai trovato il favore dei consumatori. La riduzione del peso delle bottiglie è sempre stata osteggiata per ragioni legate al marketing. Infatti, è molto diffusa la convinzione che il consumatore associ a

una bottiglia più pesante un vino di maggiore qualità. Alcuni autori (Trioli et al., 2015), tuttavia, evidenziano che il consumatore finale non abbia una reale percezione del peso della bottiglia di vetro quando effettua un acquisto. Per rimarcare il ruolo del vetro nelle prestazioni ambientali del vino, si riportano di seguito (Tabella 16) gli impatti ambientali di due bottiglie di vetro scuro aventi pesi differenti (bottiglia da 360 g utilizzata per il vino Carignano La casa di Sophia e bottiglia da 558 g utilizzata per i due vini Cannonau):

Categoria di impatto	Unità di misura	Bottiglia 360 g	Bottiglia 558 g
Cambiamento Climatico	kg CO ₂ eq	2,69E-01	4,18E-01
Acidificazione	mol H ⁺ eq	1,58E-03	2,45E-03
Eutrofizzazione terrestre	mol N eq	5,16E-03	8,00E-03
Uso del suolo	Pt	5,57E+00	8,64E+00
Uso dell'acqua	m ³ depriv.	2,94E-03	4,56E-03
Impoverimento risorse fossili	MJ	3,59E+00	5,56E+00
Impoverimento risorse minerali	kg Sb eq	8,08E-06	1,25E-05

Tabella 16. Impatti ambientali di bottiglie di vetro scuro, di diverso peso.

Sulla base dei dati sopra riportati (Tabella 16) si stima che utilizzando la bottiglia di vetro più leggera è possibile ridurre l'impronta carbonica del vino di 0,15 kg CO₂eq/0,75L.

Un'altra scelta in grado di ridurre gli impatti ambientali del packaging è il ricorso a **scatole di cartone** più leggere. La robustezza del cartone è di importanza relativa poiché, impilando le scatole sui pallet, il peso delle bottiglie dei piani superiori è sostenuto da quelle sottostanti. Inoltre, qualsiasi tipo di intervento sulle scatole di cartone non condiziona le scelte del consumatore (difficilmente ha la possibilità di vedere le scatole di cartone nei centri di distribuzione e vendita).

Al fine di ridurre il **consumo di energia elettrica** è necessario agire, preliminarmente, effettuando audit energetici per la verifica della funzionalità degli impianti elettrici e l'individuazione/monitoraggio dei processi più dispendiosi. A titolo esemplificativo, l'efficientamento dei consumi può riguardare i sistemi di raffreddamento del mosto, il dimensionamento e l'ottimale funzionamento dei motori di tutte le attrezzature di cantina, l'isolamento termico ed i sistemi di illuminazione degli ambienti. Naturalmente, è fondamentale la scelta dei mix energetici (oculata selezione dei fornitori di energia in rete pubblica) e/o il ricorso all'autoproduzione di energia mediante pannelli fotovoltaici o altri impianti da energie rinnovabili.

3.7 CONCLUSIONI

Gli studi LCA hanno soddisfatto gli obiettivi operativi del WP#4 del progetto GA-VINO, consentendo di determinare l'impronta ambientale dei vini Carignano, Vermentino di Sardegna e Cannonau di Sardegna sulla base di casi studio e dati di letteratura. In media, l'impronta carbonica dei tre vini analizzati è risultata pari a 1,57 kg CO₂ eq/0,75L, in linea con i valori riportati in letteratura per analoghi casi studio.

Il confronto dei vini Cannonau e Vermentino con i corrispettivi vini "virtuali" ha consentito di evidenziare differenze di prestazioni ambientali dovute sia a condizioni ambientali contingenti (fattori agrometeorologici) sia a sistemi di gestione del vigneto e della cantina.

Le analisi di contributo ed il confronto dei risultati ottenuti, hanno permesso di definire i punti critici ambientali (hotspot) e di individuare soluzioni migliorative delle prestazioni ambientali dei vini analizzati.

L'interpretazione dei risultati ottenuti non può prescindere dal costante riferimento alle scelte metodologiche effettuate e alla tipologia di dati (primari e secondari) utilizzati nella costruzione dei singoli modelli LCA. Pertanto, non è possibile utilizzare i dati per effettuare graduatorie di merito tra le aziende campione e si raccomanda massima chiarezza e completezza di informazioni nella comunicazione delle prestazioni ambientali dei vini analizzati.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano vivamente le aziende La Casa di Sophia di Calasetta e Cantine Gabriele Palmas di Sassari per la fattiva collaborazione e la gentile disponibilità nella raccolta dati. E, soprattutto, per la professionalità e passione con cui producono i loro vini, dimostrando massima attenzione alla Qualità e convinta sensibilità verso la salvaguardia dell'ambiente.

Si ringraziano, inoltre, la dott.ssa Daniela Satta ed il dott. Massimiliano Mameli di Agris Sardegna per il prezioso confronto e la proficua collaborazione nella ricerca e verifica delle informazioni sulle tecniche di coltivazione della vite più diffuse in Sardegna.

Si ringrazia, infine, il dott. Gennaro Buonauro di FederlegnoArredo per le informazioni sull'LCA dei tappi in sughero.

BIBLIOGRAFIA

Agri-footprint 4.0 (2017) LCA database Blonk Agri-footprint, Gouda, Netherlands. <http://www.agri-footprint.com>

ARPAS - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna - Dipartimento Meteorologico Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi (2020) Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna - Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2018 – settembre 2019. <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/periodiche/reportannuali.asp>

Benedetto, G., 2013. The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment. *Wine Econ. Policy* 2, 33–41.

Bonamente, E., Scrucca, F., Rinaldi, S., Merico, M.C., Asdrubali, F., Lamastra, L., 2016. Environmental impact of an Italian wine bottle: carbon and water footprint assessment. *Sci. Total Environ.* 560–561, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.026>.

Ecobilancio Italia (2010), Ecobilancio di prodotti in sughero ISBN 978 88 488 1089 0

CEEV (2018) Product Environmental Footprint Category Rules for still and sparkling wine. https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/documents/PEFCR%20_wine.pdf

Colonna, N., Correnti, A., D'Elia, I., Racalbuto, S., Schimberni, M., (2008). Ridurre le emissioni di ammoniaca da fertilizzanti azotati. *ARS n. 117 - Giugno/Luglio 2008* ARS n. 117 - Giugno/Luglio 2008, 6-12

EDIP Database. <http://www.lca-center.dk/CMS/site.aspx?p=728>

Fazio S. Castellani, V. Sala, S. Schau, EM. Secchi, M. Zampori L. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, EUR 28888 EN, European Commission, Ispra (2018), ISBN 978-92-79-76742-5, doi:10.2760/671368, JRC109369.

Fusi, A., Guidetti, R., Benedetto, G., 2014. Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment. *Sci. Total Environ.* 472, 989–1000.

GaBi 4 software. www.gabi-software.com

Guinée JB, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, Koning A, et al. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: operational annex. III: scientific background. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2002 [692 pp.].

Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., deKoning, A., van Oers, A., Sleswijk, A.W., Suh, S., deHaes, H.A.U., deBruijn, H., vanDuin, R., Huijbregts, M.A.J., 2001. Life Cycle Assessment, an Operational Guide to the ISO standard—Part 2b: Operational Annex, & Part 3: Scientific Background. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands.

Iannone, R., Miranda, S., Riemma, S., De Marco, J., 2016. Improving environmental performances in wine production by a life cycle assessment analysis. *J. Clean. Prod.* 111, 172 e 180.

ILCD (2010). European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment -

Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010, 397.

IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris (France). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Accessed 10 June 2018.

ISMEA (2008). Aspetti strutturali e di mercato nel comparto dei vini Doc-Docg. <http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2945>

ISMEA (2019). Vendemmia 2019: l'Italia si conferma primo produttore mondiale con 46 milioni di ettolitri <http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/10788> consultato il 08/11/2020

ISO 14040 (2006a). Environmental Management–Life Cycle Assessment—Principles and Framework, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.

ISO 14044 (2006b). Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.

ISPRA (2016). Best Practice e indicatori ambientali delle organizzazioni vitivinicole italiane registrate EMAS. ISPRA Rapporti 245/2016 ISBN: 978-88-448-0771-9

PRé Consultants (2020) Software LCA SimaPro Analyst 9.1.0.0.

Nemecek T. & Kägi T. (2007) Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. AgroscopeReckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.ch.

Novelli, E. (2014). Sostenibilità in cantina: la gestione dell'acqua. L'Informatore Agrario. 11/2014.

Regione Autonoma della Sardegna (2020). Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Sardegna: Norme tecniche generali agronomiche e difesa. Aggiornamento 2020. <http://www.sardegnaagricoltura.it/argomenti/produzionivegetali/produzioneintegrata/>

Trioli G., Sacchi A., Corbo C., Trevisan M., (2015). Impatto ambientale dei mezzi tecnici usati in vigneto e in cantina: una indagine europea. www.infowine.com – rivista internet di viticoltura ed enologia, 2015, n. 7/1.

Vazquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Iribarren, D., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2012. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain). J. Clean. Prod. 27, 92e102.

Villanueva-Rey, P., Vazquez-Rowe, I., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2014. Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. J. Clean. Prod. 65, 330e341.