



POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Energia

**Corso di laurea magistrale in Ingegneria Energetica e
Nucleare**

Tesi di laurea magistrale

**Analisi Energetica e Carbon Footprint in uno
stabilimento industriale: condivisione dei
risultati tramite blockchain**

Candidato:

Gioele Porro

Relatori:

Professor Marco Badami

Professor Armando Portoraro

Sommario

INDICE DELLE FIGURE	5
INDICE DELLE TABELLE.....	7
INTRODUZIONE.....	11
1 CONSUMI ENERGETICI GLOBALI ED EMISSIONI DI GAS SERRA.....	13
1.1 IL RISCALDAMENTO GLOBALE	13
1.2 EVOLUZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO GLOBALE.....	14
1.3 EMISSIONI DI CO ₂ PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA ED ELETTRICA.....	16
1.3.1 Emissioni pro-capite di CO ₂	18
1.3.2 Variazione del mix energetico globale.....	18
1.4 SCENARI FUTURI	20
1.4.1 Crescita dei consumi energetici	20
1.4.2 Variazioni nel mix energetico globale.....	21
1.4.3 Scenari di emissione di CO ₂ e gas serra.....	21
1.5 FONTI RINNOVABILI ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO: IL CASO STUDIO DI UN'AZIENDA VINICOLA.....	23
2 UNA PIATTAFORMA BLOCKCHAIN PER LA CERTIFICAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA CFP	25
2.1 TECNOLOGIA BLOCKCHAIN	25
2.1.1 Sistemi centralizzati e sistemi distribuiti.....	25
2.1.2 Struttura dei blocchi	26
2.1.3 Permissionless e permissioned blockchain.....	27
2.1.4 Smart contract e token	29
2.1.5 I vantaggi della blockchain	29
2.1.6 Applicazioni della blockchain nel settore energetico.....	30
2.2 STRUTTURA DELLA PIATTAFORMA CHE PREMIA I COMPORTAMENTI VIRTUOSI.....	31
2.2.1 Il meccanismo virtuoso	31
2.2.2 Vantaggi per produttori e consumatori.....	32
2.2.3 Utilizzo della blockchain	33
2.2.4 Estensioni dell'applicazione	33
2.2.5 Realizzazione della piattaforma	34
3 NORMATIVE ENERGETICHE ED AMBIENTALI DI RIFERIMENTO	35
3.1 CERTIFICAZIONI ENERGETICHE: CENNI ALLA UNI EN ISO 50001	35
3.1.1 Politica energetica	35
3.1.2 Il ciclo di Deming per la gestione dell'energia	36
3.2 CERTIFICAZIONI AMBIENTALI.....	37
3.2.1 La famiglia delle ISO 14060	37
3.2.2 ISO 14064-1	39
3.2.3 ISO 14067.....	42
3.3 UTILIZZO DELLE NORMATIVE NEL CASO STUDIO.....	47
4 CASO STUDIO: UN'AZIENDA VINICOLA	49
4.1 L'AZIENDA E IL PROCESSO PRODUTTIVO.....	49
4.1.1 L'azienda.....	49
4.1.2 L'impianto di produzione	49
4.2 INVENTARIO DEI GHG.....	53
4.2.1 Confini organizzativi e periodo temporale.....	53
4.2.2 Inventario delle sorgenti emissive e loro tipologia	54
4.2.3 Calcolo delle emissioni di CO _{2,eq}	57
4.2.4 Analisi delle emissioni.....	72
4.2.5 Utilizzo dell'inventario dei GHG per il calcolo della CFP	76
4.3 STIMA DELLE EMISSIONI SPECIFICHE	76
4.3.1 Difficoltà nel reperimento dei dati.....	76
4.3.2 Unità di riferimento e limitazioni al ciclo di vita del prodotto	78

4.3.3	<i>Obiettivi e campo di applicazione</i>	78
4.3.4	<i>Analisi dell'inventario del ciclo di vita</i>	78
4.3.5	<i>Allocazione delle emissioni e valutazione della CFP</i>	80
4.3.6	<i>Interpretazione della CFP</i>	84
4.3.7	<i>Concordanza con gli obiettivi dello studio di CFP</i>	85
4.4	INTERVENTI DI RISPARMIO ENERGETICO ED EMISSIVO	85
4.4.1	<i>Interventi di efficientamento energetico</i>	85
4.4.2	<i>Installazione di un impianto fotovoltaico</i>	89
4.4.3	<i>Impianto fotovoltaico ed efficientamento energetico</i>	91
4.4.4	<i>Modifica del mix energetico utilizzato</i>	93
4.4.5	<i>Il riutilizzo della bottiglia di vetro: una soluzione meno energivora</i>	93
4.4.6	<i>Efficacia degli interventi di riduzione delle emissioni di GHG proposti</i>	95
CONCLUSIONI		99
BIBLIOGRAFIA PER CAPITOLI		103
RINGRAZIAMENTI		107

Indice delle figure

Figura 1. Evoluzione temporale della concentrazione media globale di anidride carbonica ..	13
Figura 2. Evoluzione temporale delle anomalie della temperatura media globale.....	13
Figura 3. Composizione percentuale delle emissioni globali di GHG d'origine antropica	14
Figura 4. Evoluzione temporale dei consumi globali di energia primaria secondo Vaclav Smil e il BP Statistical Review of World Energy.....	15
Figura 5. Evoluzione temporale dei consumi globali di energia primaria suddivisi per regione secondo il "BP Statistical Review 2016"	15
Figura 6. Valori dei consumi energetici pro-capite globali forniti dall'IEA.....	16
Figura 7. Evoluzione delle emissioni annuali di CO ₂ suddivise per regione secondo il CDIAC e il GCP.....	17
Figura 8. Evoluzione temporale dell'intensità di carbonio dell'economia di differenti paesi .	17
Figura 9. Valori delle emissioni pro-capite di CO ₂ globali	18
Figura 10. Dettaglio dell'evoluzione temporale dei consumi di energia primaria globali suddivisi per fonte energetica secondo il BP Statistical Review 2016	19
Figura 11. Evoluzione temporale della composizione del mix energetico globale relativo alla produzione dell'energia elettrica secondo i dati forniti dall'IEA.....	19
Figura 12. Proiezioni sulla crescita del PIL e dei consumi di energia degli stati OECD e non-OECD secondo differenti casistiche. (IEO 2019).....	20
Figura 13. Proiezione fino al 2050 dei consumi energetici globali. (IEO 2019).....	20
Figura 14. Proiezioni secondo il reference case dei consumi globali di energia primaria secondo le differenti sorgenti. IEO 2019).....	21
Figura 15. Proiezioni secondo il reference case delle emissioni globali di CO ₂ dovute al consumo di energia. (IEO 2019)	22
Figura 16. Proiezioni al 2100 secondo differenti scenari delle emissioni globali di gas serra e del correlato aumento di temperatura media globale, Climate Action Tracker.....	22
Figura 17. Schema di funzionamento di sistemi centralizzati e distribuiti	26
Figura 18. Struttura dei blocchi della blockchain e passaggio del codice di Hash	27
Figura 19. Differenze tra i paradigmi permissionless blockchain e permissioned blockchain.	28
Figura 20. Panoramica delle applicazioni blockchain nel settore energetico.....	30
Figura 21. Schema di funzionamento della piattaforma blockchain.	32
Figura 22. Schema di funzionamento del ciclo PDCA.....	35
Figura 23. La famiglia delle ISO 14060	38
Figura 24. GWP ₁₀₀ di alcuni gas serra secondo i valori forniti dall'IPCC.....	41
Figura 25. ISO 14064 e normative ausiliarie.	43
Figura 26. Fasi dell'LCA.....	46
Figura 27. Processi di vinificazione in rosso e di vinificazione in bianco.	51
Figura 28. Fasi di produzione secondo il metodo Martinotti.....	52
Figura 29. Esempio di documento di trasporto per la CO ₂ liquida	64
Figura 30. Emissioni di GHG totali per categoria di emissione	73

Figura 31. Composizione percentuale per sorgente delle emissioni totali di GHG dell'organizzazione	74
Figura 32. Composizione percentuale per processo delle emissioni di GHG totali	75
Figura 33. Composizione percentuale delle emissioni di GHG del processo di confezionamento.....	76
Figura 34. Confronto fra le emissioni specifiche dei differenti formati.....	84
Figura 35. Confronto fra le emissioni specifiche rispetto ad un litro di vino prodotto dei differenti formati.....	85
Figura 36. Suddivisione percentuale dei consumi di energia elettrica secondo la destinazione d'uso	87
Figura 37. Suddivisione percentuale dei consumi di energia elettrica rispetto alle opportunità di efficientamento energetico.....	87
Figura 38. Confronto tra i consumi a seguito degli interventi di efficientamento	88
Figura 39. Composizione dei consumi di energia elettrica a fronte degli interventi di efficientamento energetico.....	89
Figura 40. Energia elettrica prodotta mensilmente dall'impianto fotovoltaico ipotizzato	90
Figura 41. Confronto mensile tra energia elettrica acquistata e autoconsumata.....	91
Figura 42. Confronto mensile tra l'energia elettrica acquistata prima e dopo gli interventi di efficientamento e dell'installazione dell'impianto fotovoltaico	92
Figura 43. Processi di riciclo e riutilizzo della bottiglia di vino.....	94
Figura 44. Confronto tra gli interventi di riduzione delle emissioni proposti.....	95
Figura 45. Massima possibilità di riduzione delle emissioni di GHG	96
Figura 46. Possibilità di riduzione delle emissioni di GHG con utilizzo di mix energetico per l'energia elettrica 100% rinnovabile.....	97

Indice delle tabelle

Tabella 1. Inventario delle sorgenti emissive dell'organizzazione suddivise per categoria	56
Tabella 2. GWP ₁₀₀ dei GHG di interesse (GHG Protocol)	57
Tabella 3. Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici .	58
Tabella 4. Fattori emissivi per il consumo di energia elettrica da rete dell'organizzazione....	58
Tabella 5. Emissioni dovute all'approvvigionamento di energia elettrica dalla rete.....	59
Tabella 6. Fattori d'emissione per la combustione del gas naturale	60
Tabella 7. Emissioni di GHG per la generazione del calore per l'impianto di produzione.....	60
Tabella 8. Emissioni di GHG per il riscaldamento degli uffici.....	61
Tabella 9. Emissioni di GHG dovute alla generazione di calore	61
Tabella 10. Fattori emissivi per il settore trasporti 2017, ISPRA.....	62
Tabella 11. Emissioni di GHG dovute ai trasporti aziendali dell'organizzazione	62
Tabella 12. Emissioni di GHG dovute ai trasporti dei dipendenti dell'organizzazione	63
Tabella 13. Emissioni di GHG dovute ai trasporti dell'organizzazione.....	63
Tabella 14. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di CO ₂ liquida per la refrigerazione	64
Tabella 15. Produzione totale mensile 2018.....	65
Tabella 16. Emissioni di GHG dovute al processo di fermentazione alcolica	65
Tabella 17. Fattori emissivi degli additivi per vinificazione (OIV)	66
Tabella 18. Emissioni di GHG dovute al consumo degli additivi per la vinificazione	66
Tabella 19. Emissioni di GHG dovute al processo di vinificazione	67
Tabella 20. Fattori emissivi dei prodotti per la pulizia dell'impianto (OIV)	67
Tabella 21. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di prodotti per la pulizia dell'impianto.	67
Tabella 22. Fattori emissivi dei diversi materiali per l'imbottigliamento (OIV)	68
Tabella 23. Tipologia, quantità e massa delle bottiglie acquistate dall'azienda nel 2018.....	69
Tabella 24. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di materiali per l'imbottigliamento.	69
Tabella 25. Emissioni di GHG dovuti all'utilizzo di materiali per la tappatura.....	70
Tabella 26. Fattori emissivi dei materiali per il confezionamento (OIV)	71
Tabella 27. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di materiali per il packaging.....	71
Tabella 28. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo dei materiali per il confezionamento	71
Tabella 29. Fattori emissivi degli agenti antincendio contenuti negli estintori.....	72
Tabella 30. Emissioni di GHG dovute al sistema antincendio	72
Tabella 31. Emissioni di GHG totali per categoria di emissione	72
Tabella 32. Inventario delle emissioni dell'organizzazione.....	73
Tabella 33. Emissioni di GHG totali per processo	75
Tabella 34. Flussi di materia ed energia del processo di vinificazione	79
Tabella 35. Flussi di materia ed energia del processo di produzione dello spumante.....	80
Tabella 36. Flussi di materia ed energia degli ausiliari di processo	80
Tabella 37. Dati produzione 2018	81
Tabella 38. Produzione 2018 dei diversi formati	82
Tabella 39. Allocazione delle emissioni rispetto a differenti formati	83
Tabella 40. Emissioni specifiche dei diversi formati	83

Tabella 41. Emissioni specifiche rispetto ad un litro di vino per i differenti formati.	84
Tabella 42. Coefficienti di risparmio relativi agli interventi di efficientamento energetico....	86
Tabella 43. Consumi di energia elettrica secondo la destinazione d'uso	86
Tabella 44. Consumi di energia elettrica secondo le opportunità di efficientamento energetico.....	88
Tabella 45. Risparmi energetici ottenibili con gli interventi di efficientamento	88
Tabella 46. Risparmio di energia elettrica prelevata dalla rete con l'impianto fotovoltaico ..	90
Tabella 47. Risparmio di energia elettrica prelevata dalla rete con impianto fotovoltaico ed efficientamento energetico.....	92
Tabella 48. Percentuali di riduzione delle emissioni di GHG dovute ai differenti interventi analizzati	95

Introduzione

Il *riscaldamento globale* (o *global warming*) è uno dei temi di maggior attualità nella discussione pubblica e politica.

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento delle iniziative volte a contrastare tale fenomeno, basate sulla riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera ormai identificate come causa conclamata del riscaldamento globale.

La presa di coscienza a livello internazionale è arrivata nel 1997 con la negoziazione del Protocollo di Kyoto a cui sono seguite numerose azioni politiche più o meno diffuse ed efficaci: l'ultimo significativo traguardo si è raggiunto con la XXI Conferenza delle Parti dell'UNFCCC, nota come COP 21, tenutasi a Parigi nel dicembre 2015, che ha prodotto il cosiddetto Accordo di Parigi: esso prevede, al fine di limitare l'aumento di temperatura media globale di un valore inferiore ai 2°C, la riduzione delle emissioni di gas serra di un quantitativo volontario da parte dei Paesi che hanno ratificato l'accordo senza però prevedere alcun tipo di sanzione in caso di inadempienza.

Per quanto tale accordo rappresenti un segnale positivo e sia il segno di una volontà politica di combattere il cambiamento climatico, è diffusa la consapevolezza all'interno della comunità scientifica che le attuali misure previste non siano sufficienti a garantire un aumento limitato della temperatura globale.

Per questo motivo sono nati in tutto il mondo numerosi movimenti popolari di protesta che richiedono alle istituzioni e ai governi misure più restrittive ed efficaci per limitare la degradazione del clima terrestre: uno dei più recenti ed eclatanti esempi di tale volontà popolare è il movimento internazionale studentesco "Fridays fo Future".

La difficoltà nella definizione di strategie efficienti ed efficaci nella lotta alle emissioni di gas serra nasce principalmente dalla riluttanza ad abbandonare a livello globale l'attuale paradigma energetico ed economico fortemente incentrato sull'utilizzo di combustibili fossili, principale causa di emissioni di gas serra in atmosfera, e alla portata degli investimenti economici necessari alla transizione verso sistemi di produzione più efficienti.

Sulla base di queste considerazioni è nata, in collaborazione con Trigenia srl, l'idea di una piattaforma in grado di instaurare un circolo virtuoso che incentivi le aziende e le industrie a ridurre le emissioni di gas serra dei prodotti e dei servizi immessi sul mercato certificando agli occhi dei cittadini tale impegno e permettendo a questi ultimi di avere un ruolo attivo nella lotta al cambiamento climatico attraverso acquisti consapevoli e garantendo loro piccole agevolazioni economiche a riconoscimento della scelta fatta.

La trattazione si dipanerà in cinque capitoli, illustrando l'idea alla base della piattaforma e concentrandosi in particolar modo sui procedimenti di certificazione delle emissioni di gas serra attraverso la descrizione di un caso studio.

Il primo capitolo introdurrà il problema del cambiamento climatico analizzandone in particolare i legami con i consumi globali di energia e le relative emissioni di gas serra.

Nel secondo capitolo, dopo un excursus sulla tecnologia blockchain, verrà invece illustrato l'ipotetico funzionamento della piattaforma ideata, evidenziandone le caratteristiche e le potenzialità.

Il terzo capitolo conterrà invece un approfondimento delle normative utili alla certificazione delle emissioni di gas serra, evidenziandone gli aspetti più rilevanti rispetto al lavoro effettuato.

Il quarto capitolo, più corposo rispetto ai precedenti, illustrerà il lavoro effettuato nell'analisi del caso studio, ovvero la certificazione dell'inventario dei GHG di un'azienda vinicola e la stima dell'impronta di carbonio dei suoi prodotti: tale lavoro è stato portato avanti in collaborazione con Trigenia srl, utilizzando i dati e la documentazione relativi all'azienda in analisi messi a disposizione.

L'ultimo capitolo conterrà infine le conclusioni e le prospettive future di sviluppo della piattaforma ideata.

1 Consumi energetici globali ed emissioni di gas serra

1.1 Il riscaldamento globale

Le emissioni di gas serra ad opera delle attività dell'uomo sono la principale causa dell'anomalo cambiamento climatico cui stiamo assistendo e che ricade sotto il nome di Riscaldamento Globale.

La variazione della concentrazione di CO₂ in atmosfera registrata negli ultimi centocinquanta'anni non è infatti attribuibile a cause naturali:

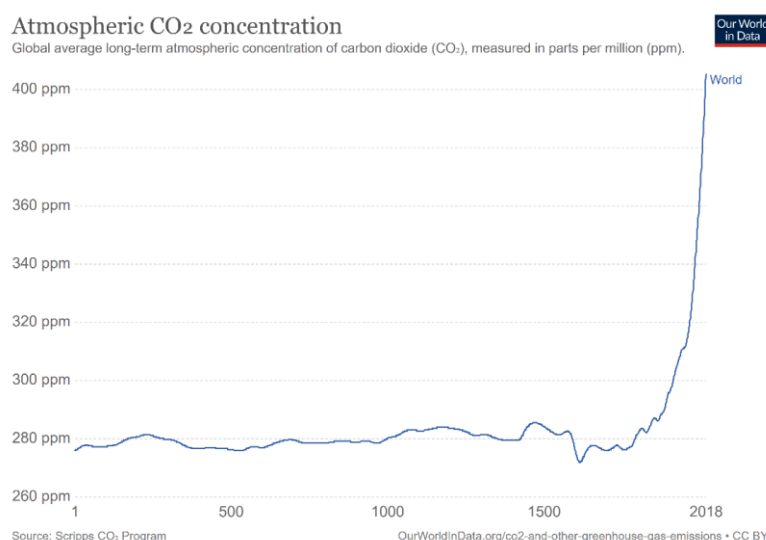


Figura 1. Evoluzione temporale della concentrazione media globale di anidride carbonica (Our World In Data).

Un aumento così significativo rispetto ai livelli preindustriali di concentrazione di anidride carbonica ha portato ad un progressivo aumento di temperatura del pianeta.

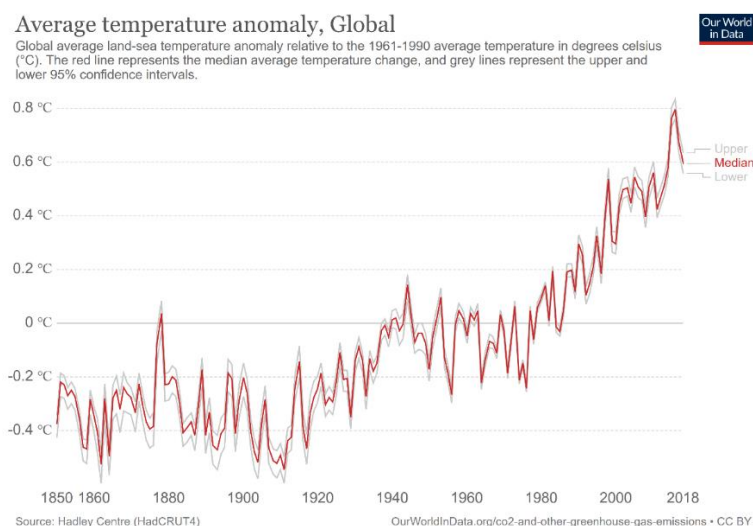


Figura 2. Evoluzione temporale delle anomalie della temperatura media globale (Our World In Data).

Si è stimato che tale aumento di temperatura media globale, causa di desertificazione, dello scioglimento dei ghiacci e dell'aumento del livello degli oceani, e dell'intensificarsi di severi fenomeni atmosferici quali alluvioni e uragani, sia ormai irreversibile: la possibilità di intervenire è ad oggi limitata alla possibilità di attenuare l'aumento di temperatura e ridurre gli effetti.

In particolare, non è più possibile sperare di contenere l'aumento di temperatura media globale al di sotto di 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali ma vi è la possibilità di rimanere al di sotto dei 2°C, a patto che siano applicate tempestive ed efficaci misure di contrasto alle emissioni di gas serra. L'obiettivo è quello di mantenere una concentrazione di CO₂ in atmosfera al di sotto di 450 ppm, come stabilito dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Energia e gas serra

La produzione e il consumo di energia sono ad oggi tra i più importanti fattori legati alla produzione ed emissione dei gas serra.

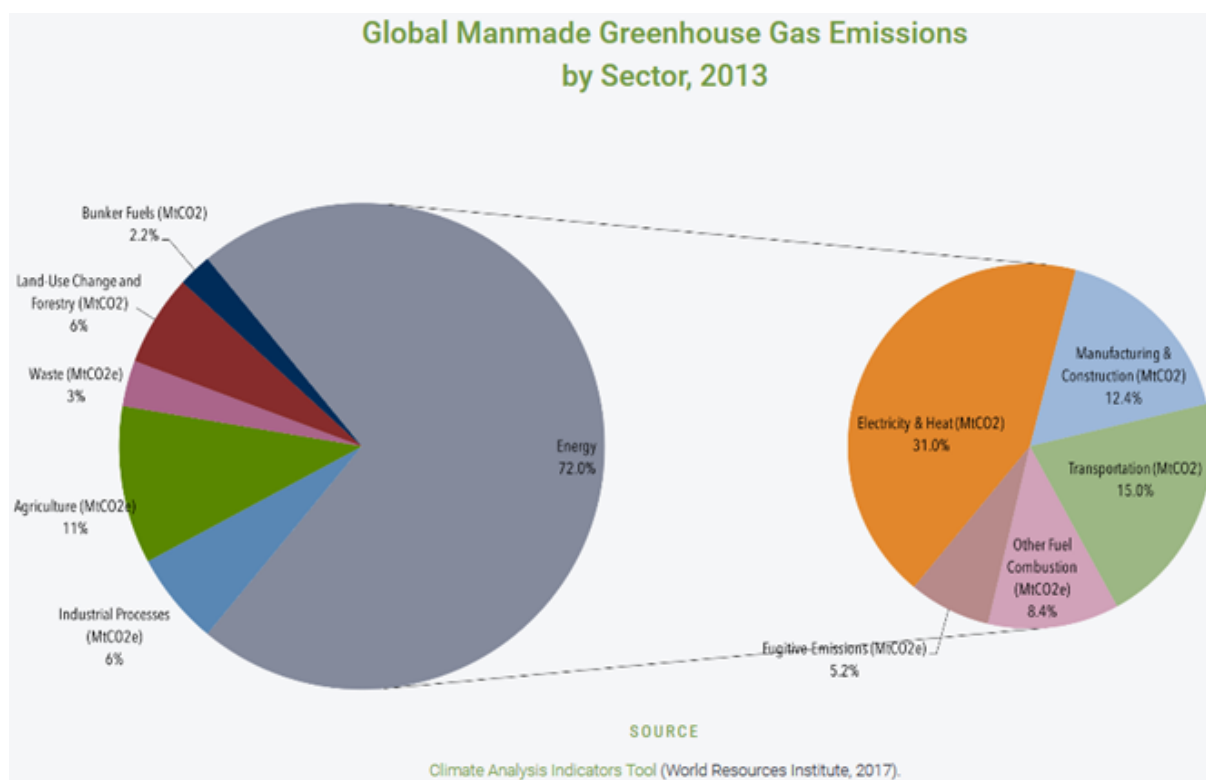


Figura 3. Composizione percentuale delle emissioni globali di gas serra di origine antropica (World resources Institute, 2017).

Al 2013, il 72 % delle emissioni di origine antropica era dovuto all'utilizzo di energia. In particolare, il 31 % delle emissioni era legato al semplice approvvigionamento di energia elettrica e di produzione di calore.

Risulta quindi necessario indagare il fabbisogno energetico globale e la sua evoluzione per comprendere le cause dell'aumento delle emissioni di gas serra a cui abbiamo assistito negli ultimi decenni e secoli.

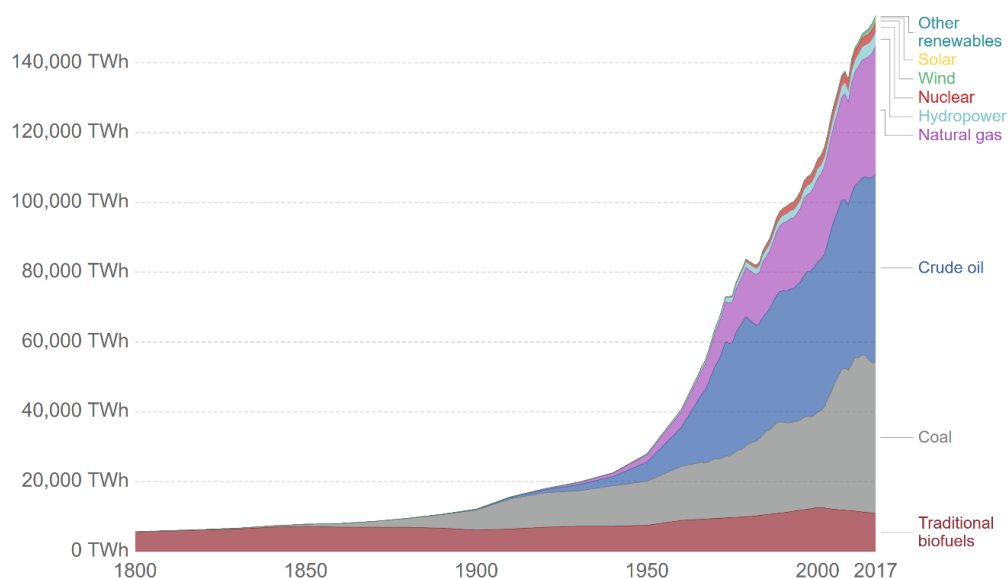
1.2 Evoluzione del fabbisogno energetico globale

A partire dalla metà del XIX secolo, in corrispondenza della seconda rivoluzione industriale, il consumo di energia a livello globale ha registrato un continuo aumento, causato da un costante aumento della popolazione mondiale e della crescita economica.

Global primary energy consumption

Global primary energy consumption, measured in terawatt-hours (TWh) per year. Here 'other renewables' are renewable technologies not including solar, wind, hydropower and traditional biofuels.

Our World
in Data



Source: Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

CC BY

Figura 4. Evoluzione temporale dei consumi globali di energia primaria secondo Vaclav Smil e il BP Statistical Review of World Energy (Our World In Data).

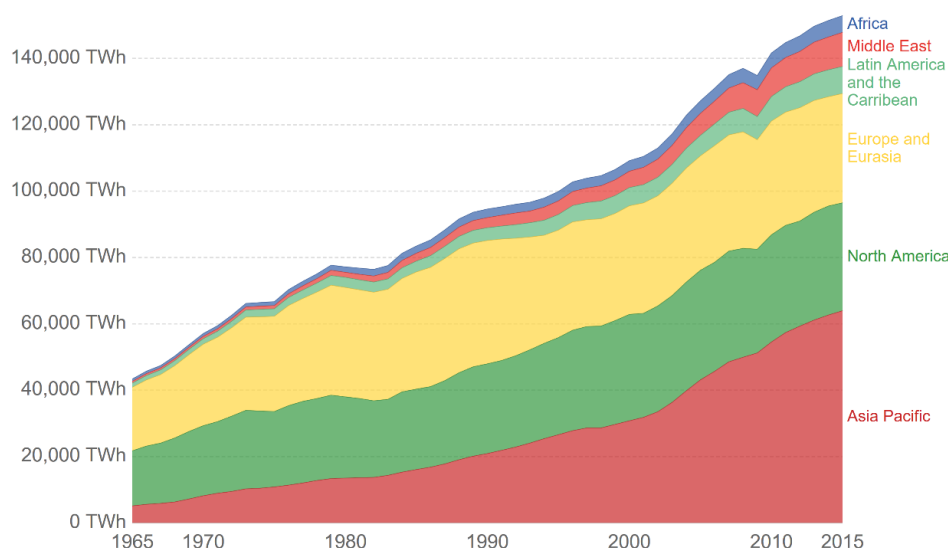
Tale crescita ha in particolare registrato un picco dopo la metà del XX secolo, portando a ritmi di crescita del fabbisogno vertiginosi.

Risulta interessante osservare l'andamento per i singoli stati e aree geografiche.

Primary energy consumption by world region

Global energy consumption by region, measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data includes only commercially-traded fuels (coal, oil, gas), nuclear and modern renewables used in electricity production. As such, it does not include traditional biomass sources.

Our World
in Data



Source: BP Statistical Review 2016

OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY

Figura 5. Evoluzione temporale dei consumi globali di energia primaria suddivisi per regione secondo il "BP Statistical Review 2016" (Our World In Data).

Mentre per l'Europa, l'Eurasia e il Nord America si osserva una crescita tutto sommato limitata, con un consumo di energia primaria pressoché costante negli ultimi due decenni, ben diverso è il discorso per le altre zone, caratterizzate tutte da un aumento significativo dei consumi: eclatanti sono i casi dell'Asia Pacifica e del Medio Oriente.

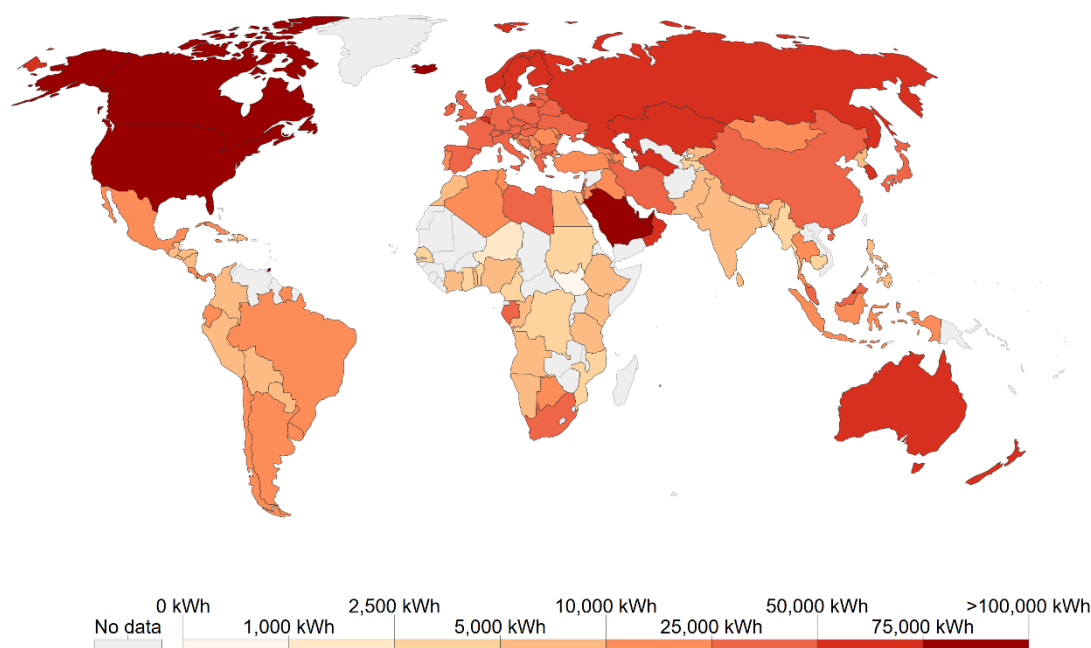
Consumi energetici pro-capite

I paesi dell'Asia Pacifica detengono il record di energia primaria consumata ma se si osservano i dati relativi alla densità energetica di tali paesi si osserva come il primato passa agli stati occidentali.

Energy use per capita, 2015

Annual average per capita energy consumption is measured in kilowatt-hours per person per year.

Our World
in Data



Source: International Energy Agency (IEA) via The World Bank OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY

Figura 6. Valori dei consumi energetici pro-capite globali forniti dall'IEA (Our World In Data).

Osservando i dati relativi al 2015, tra i più recenti disponibili, troviamo Stati Uniti, Canada e Arabia Saudita alla vetta della classifica dei paesi con la densità energetica maggiore, tutti e tre con un consumo di più di 75000 kWh all'anno per persona.

Il consumo energetico pro-capite della zona dell'Asia Pacifico risulta invece paragonabile a quello del continente europeo (come quello cinese) o inferiore (si veda il dato relativo all'India). I Paesi in via di sviluppo sono dunque ancora caratterizzati da una densità energetica relativamente bassa se paragonata allo stile di vita occidentale: caratterizzati da alta popolosità, si prospetta nel prossimo futuro un aumento dalla qualità e dello stile di vita anche in questi paesi che porterebbe ad un deciso aumento dell'energia consumata.

1.3 Emissioni di CO2 per la produzione di energia termica ed elettrica

La produzione di energia termica ed elettrica è stata per anni indissolubilmente legata all'utilizzo di fonti fossili e solo negli ultimi decenni si è manifestata la volontà di ridurre l'impiego incentivando l'utilizzo di fonti rinnovabili.

È dunque lecito aspettarsi che le emissioni in atmosfera di gas serra, in particolare di CO₂, abbiano seguito un andamento simile a quello del consumo di energia primaria. Nel grafico seguente è possibile osservare tale andamento.

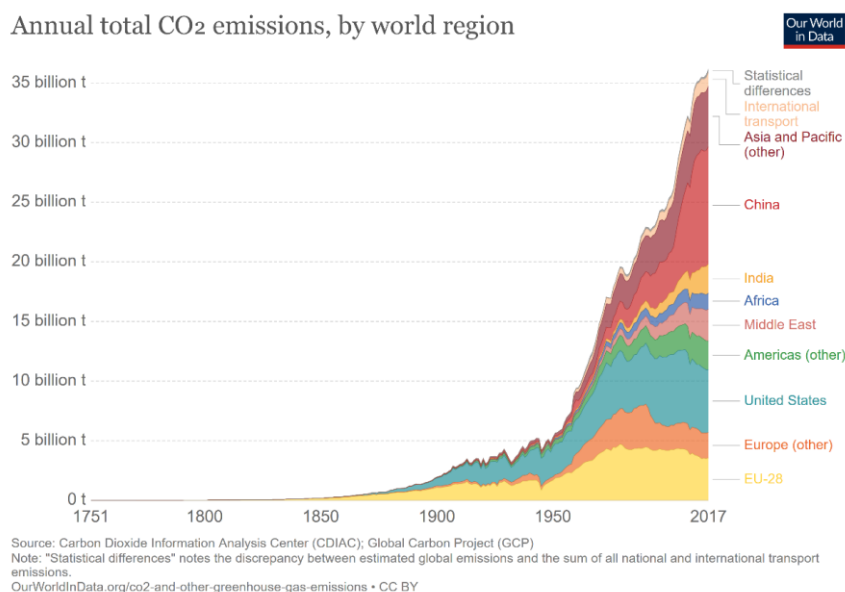


Figura 7. Evoluzione delle emissioni annuali di CO₂ suddivise per regione secondo il CDIAC e il GCP (Our World In Data).

Ancora una volta si conferma un trend di crescita per quasi tutte le regioni, con un aumento repentino a partire dalla metà del '900.

Fanno eccezione i paesi del continente europeo le cui emissioni hanno subito un lieve calo negli ultimi anni: tale calo è solo in parte giustificabile attraverso considerazioni di tipo economico ed è imputabile ai programmi di efficientamento e di transizione verso le fonti rinnovabili messi in atto dall'Unione Europea e dai paesi vicini.

L'economia dell'Unione Europea si sta dunque distaccando sempre più dall'utilizzo delle fonti fossili e di conseguenza sta riducendo le proprie emissioni specifiche rispetto alla ricchezza prodotta:

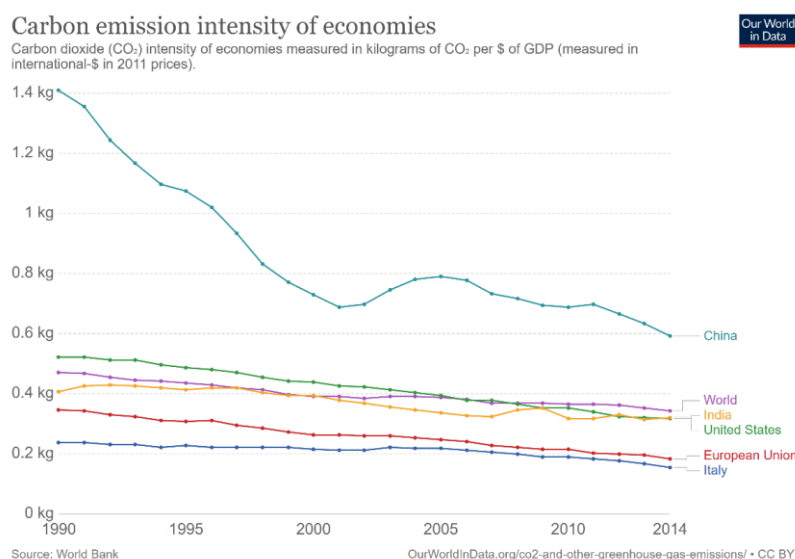


Figura 8. Evoluzione temporale dell'intensità di carbonio dell'economia di differenti paesi. (Our World In Data)

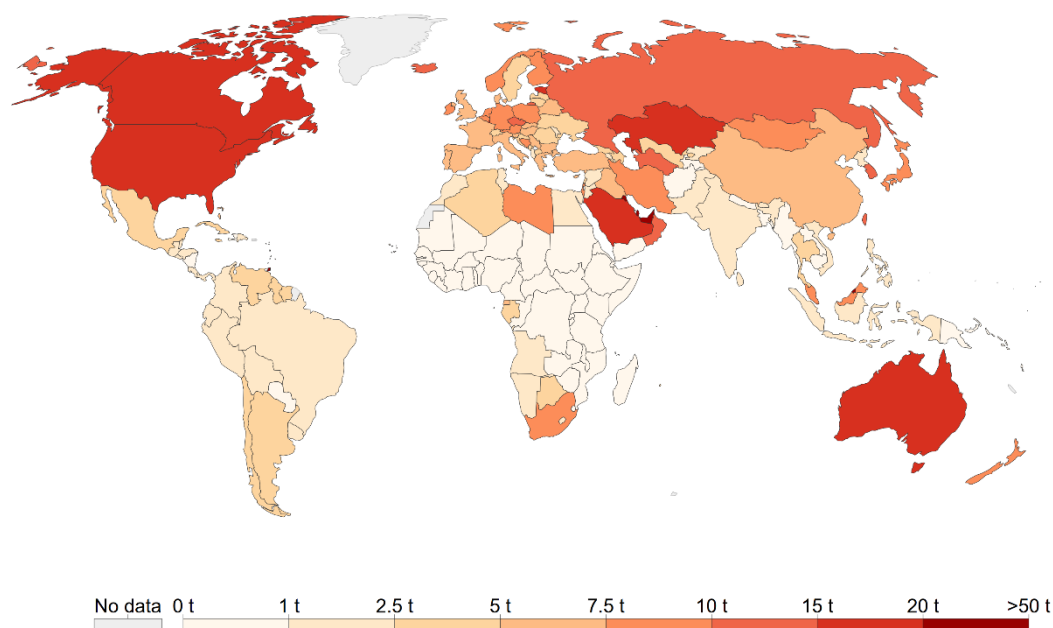
La tendenza globale è in realtà quella di diminuire l'intensità emissiva dell'economia ma nei paesi dove questa riduzione convive con una forte crescita risulta comunque un aumento in termini assoluti delle emissioni di CO₂.

1.3.1 Emissioni pro-capite di CO₂

Ancora una volta l'andamento delle emissioni di CO₂, in questo caso rapportate alla dimensione della popolazione, non si discosta dal relativo andamento del consumo di energia.

CO₂ emissions per capita, 2017

Average carbon dioxide (CO₂) emissions per capita measured in tonnes per year.



Source: OWID based on CDIAC; Global Carbon Project; Gapminder & UN
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figura 9. Valori delle emissioni pro-capite di CO₂ globali (Our World In Data).

Il Nord America si conferma come la regione con le più alte emissioni pro-capite dovute all'alta intensità energetica già precedentemente rilevata.

1.3.2 Variazione del mix energetico globale

La correlazione tra il consumo di energia e le emissioni di gas serra è dovuta al mix energetico utilizzato a livello globale.

Intervenendo su di esso è in teoria possibile arrivare a rompere tale correlazione: un consumo di energia primaria ottenuta totalmente da fonti rinnovabili e ad emissioni zero non influirebbe in alcun modo sulla quantità di gas serra presenti in atmosfera.

Purtroppo, una simile possibilità è ancora molto lontana dal realizzarsi: negli ultimi decenni si sono moltiplicati gli sforzi e gli investimenti nella produzione di energia da fonti rinnovabili portando ad un esponenziale aumento di energia prodotta ma carbone, petrolio e gas naturale mantengono ancora il predominio nella composizione del mix energetico globale.

In figura 10 è riportato l'andamento dei consumi di energia primaria a livello globale suddiviso per fonte di energia.

Primary energy consumption by source, World

Primary energy consumption by source across the world's regions, measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data does not include energy sourced from traditional biomass, which may form a significant component of primary energy consumption in low to middle-income countries. 'Other renewables' includes renewable sources including wind, geothermal, solar, biomass and waste.

Our World
in Data

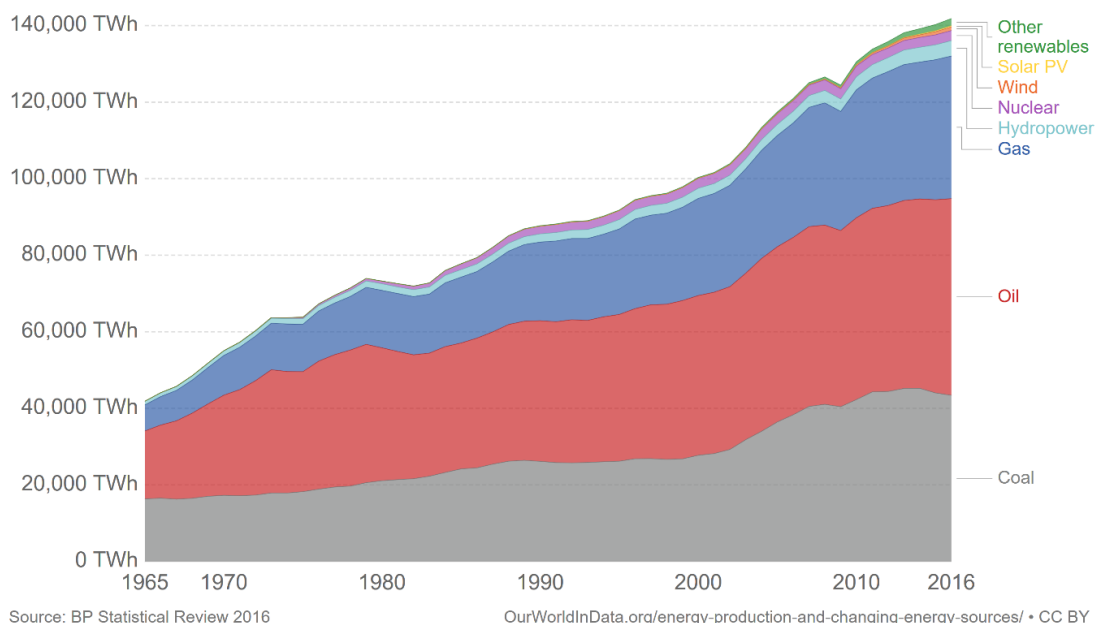


Figura 10. Dettaglio dell'evoluzione temporale dei consumi di energia primaria globali suddivisi per fonte energetica secondo il BP Statistical Review 2016 (Our World In Data)

L'aumento della quota di fonti rinnovabili è decisamente più significativo se relazionato alla produzione di sola energia elettrica ma ancora non sufficiente a contrastare in modo efficace il riscaldamento globale.

Electricity share by fuel source, World

Electricity production (measured as the percentage of total electricity production) by source (coal, oil, gas, nuclear, hydroelectric power and other renewables). Other renewables in this definition includes biomass, wind, solar, geothermal, and marine power.

Our World
in Data

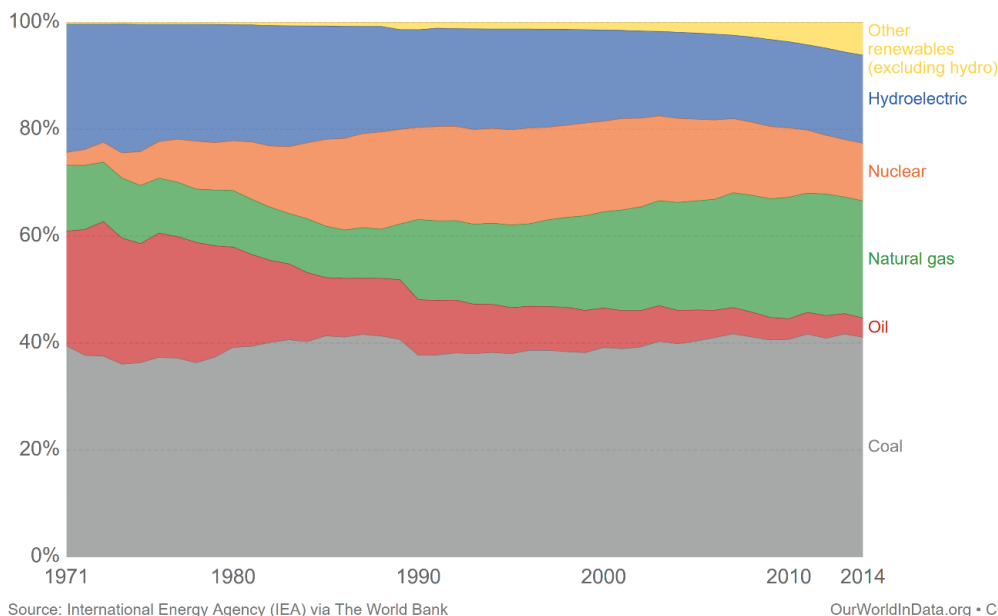


Figura 11. Evoluzione temporale della composizione del mix energetico globale relativo alla produzione dell'energia elettrica secondo i dati forniti dall'IEA (Our World In Data).

1.4 Scenari futuri

1.4.1 Crescita dei consumi energetici

Secondo l'International Energy Outlook 2019, il rapporto annuale della U.S. Energy Information Administration, l'economia e i consumi energetici sono destinati a crescere ulteriormente nei prossimi anni.

Tale crescita assume però portate decisamente variabili dipendentemente dallo scenario indagato.

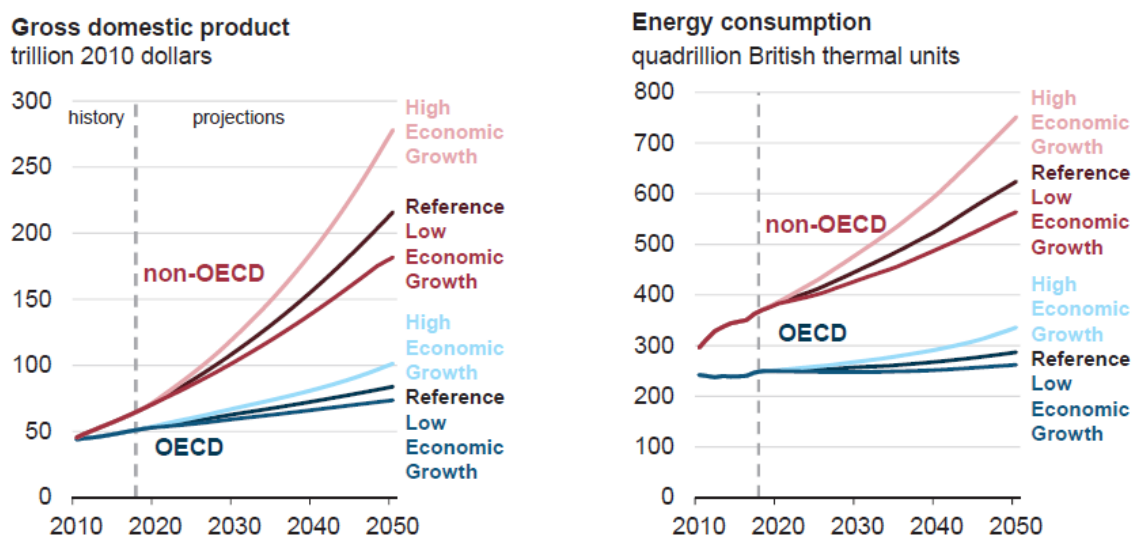


Figura 12. Proiezioni sulla crescita del PIL e dei consumi di energia degli stati OECD e non-OECD secondo differenti casistiche. (International Energy Outlook 2019)

Si distinguono i casi di una elevata crescita economica, una bassa crescita economica e il *reference case*.

Il caso di riferimento non è altro che una proiezione fatta sulla base dell'attuale situazione economica ed energetica dei paesi indagati, tenendo conto dei piani di sviluppo e delle leggi attualmente presenti.

Segue la proiezione dei consumi energetici globali relativa al reference case.

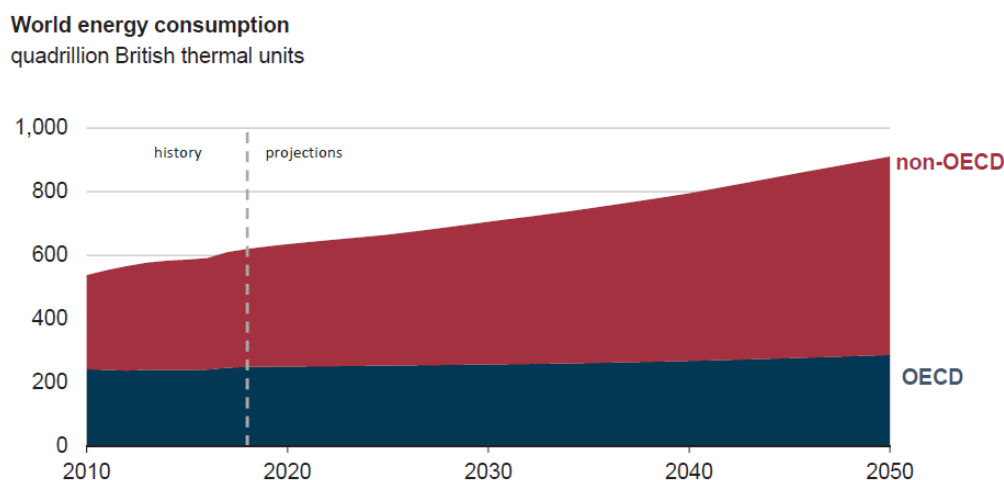


Figura 13. Proiezione fino al 2050 dei consumi energetici globali. (International Energy Outlook 2019)

Si osservi come si prevede che i consumi globali aumentino di una quota maggiore del 50% rispetto agli attuali livelli.

L'IEO compie una distinzione tra gli stati OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) e non-OECD: si tratta fondamentalmente di una distinzione tra i paesi ad oggi industrializzati e quelli in via di sviluppo.

Si conferma dunque l'andamento già osservato nelle serie storiche in cui i consumi dei Paesi più sviluppati rimangono pressoché costanti a causa di una limitata crescita economica e un aumento dell'efficienza energetica a fronte di un significativo aumento dei consumi dei Paesi in via di sviluppo.

1.4.2 Variazioni nel mix energetico globale

Nell'IEO 2019 si indagano anche le proiezioni future relative alla composizione del mix energetico globale, tenendo da conto la disponibilità e le possibili oscillazioni dei costi di ciascuna fonte di energia primaria.

Nell'immagine seguente sono riportate le proiezioni al 2050 relative al reference case.

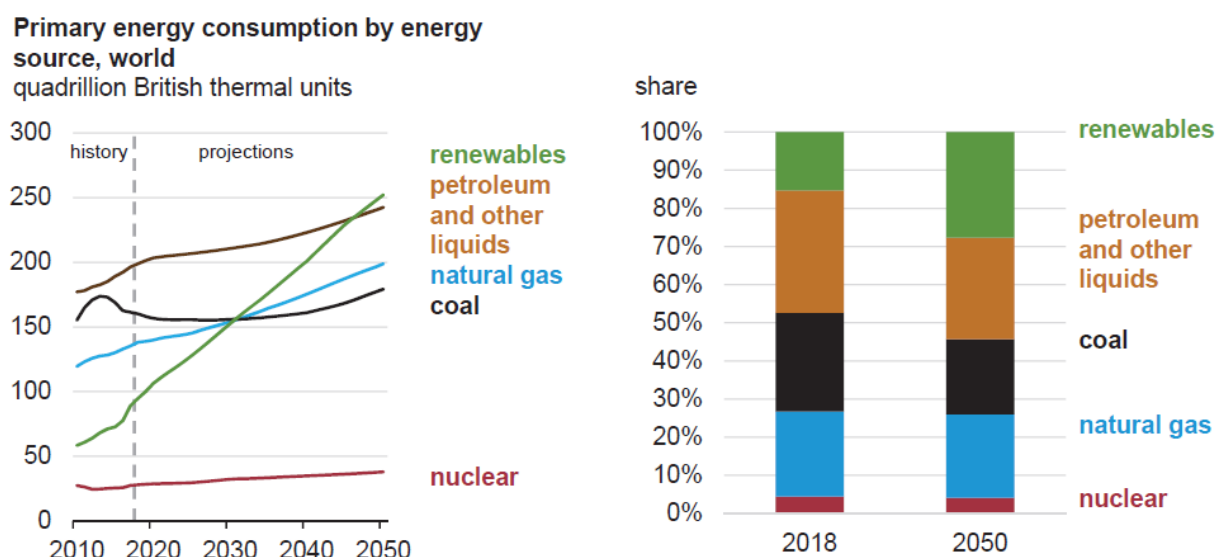


Figura 14. Proiezioni secondo il reference case dei consumi globali di energia primaria secondo le differenti sorgenti. (International Energy Outlook 2019)

Si osserva un generale aumento dell'utilizzo di ciascuna delle attuali fonti di energia primaria, necessario a far fronte all'aumento dei consumi: le fonti rinnovabili rappresentano sicuramente la variazione più significativa rispetto alla situazione odierna, quasi quintuplicando la propria portata, mentre il carbone è l'unico ad avere un andamento altalenante che si risolve con una quantità di energia prodotta a partire da esso paragonabile a quello attuale.

Sulla composizione percentuale del mix energetico prevista per il 2050 si osserva invece come le fonti rinnovabili rappresentino il contributo più significativo, seguite però ancora da fonti fossili come petrolio e gas naturale.

1.4.3 Scenari di emissione di CO2 e gas serra

Per le considerazioni fatte sulle proiezioni della composizione energetica, le emissioni specifiche rispetto al consumo di energia saranno di certo inferiori ma aumenteranno comunque in termini assoluti a causa dell'aumento dei consumi.

In figura 15, ancora una volta ripresa dall'International Energy Outlook 2019, sono riportate le emissioni di CO₂ in tonnellate di metri cubi dovute al consumo di energia e riferite al reference case.

Energy-related carbon dioxide emissions
billion metric tons

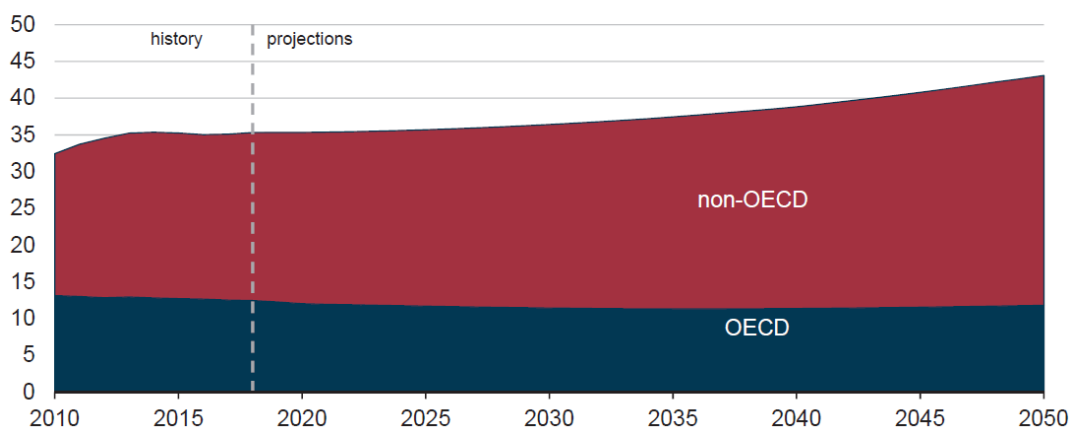


Figura 15. Proiezioni secondo il reference case delle emissioni globali di CO₂ dovute al consumo di energia. (International Energy Outlook 2019)

Se confrontata con il relativo grafico dei consumi energetici, si nota come l'aumento delle emissioni sia più contenuto rispetto alla situazione attuale.

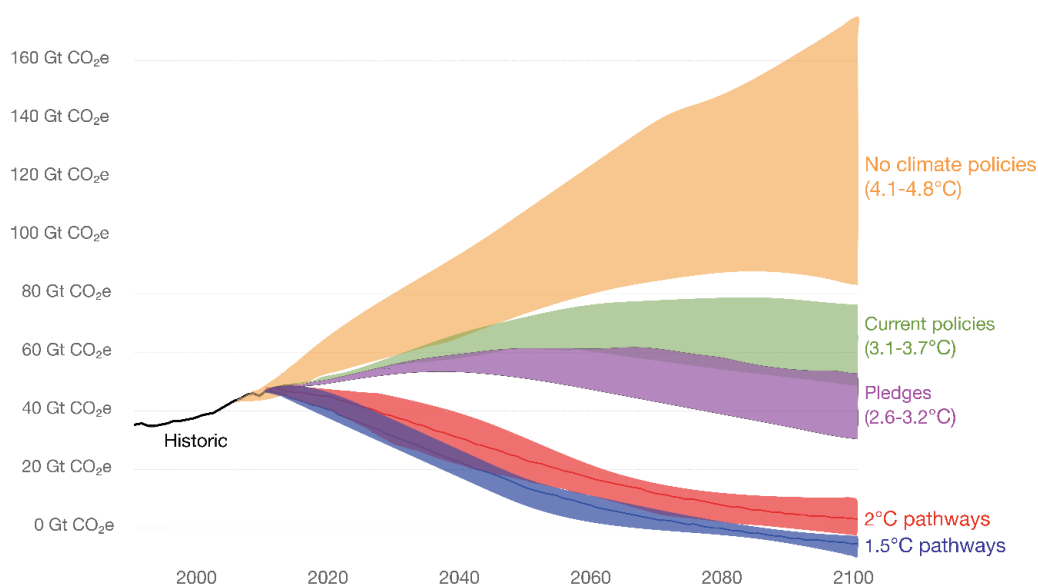
Si tratta però comunque di un aumento che va dunque a favorire il riscaldamento globale.

Nel grafico seguente è riportata una stima delle emissioni al 2100 e il relativo aumento della temperatura media globale.

Global greenhouse gas emissions scenarios

Potential future emissions pathways of global greenhouse gas emissions (measured in gigatonnes of carbon dioxide equivalents) in the case of no climate policies, current implemented policies, national pledges within the Paris Agreement, and 2°C and 1.5°C consistent pathways. High, median and low pathways represent ranges for a given scenario. Temperature figures represent the estimated average global temperature increase from pre-industrial, by 2100.

Our World
in Data



Based on data from the Climate Action Tracker (CAT).
The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find research and more visualizations on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Figura 16. Proiezioni al 2100 secondo differenti scenari delle emissioni globali di gas serra e del correlato aumento di temperatura media globale, basate sui dati di Climate Action Tracker. (Our World In Data)

Rispetto alla previsione basata sulle attuali politiche e piani di sviluppo (*current policies*) si osserva, in concordanza con quanto espresso dall'IEO, un aumento delle emissioni globali e un relativo aumento di temperatura rispetto ai livelli preindustriali compreso tra i 3,1 °C e i 3,7 °C.

Come affermato all'inizio della trattazione, un simile scenario è incompatibile con il mantenimento del clima e degli ecosistemi presenti sul nostro pianeta.

Anche lo scenario relativo agli impegni dell'Accordo di Parigi non porta però ad una situazione ottimale: per quanto contenuto, esso porta comunque ad un aumento delle emissioni rispetto allo stato attuale e quindi ad un aumento di temperatura media globale compreso tra i 2,6 °C e i 3,2 °C.

Per raggiungere le proiezioni relative agli scenari con aumenti di temperatura media globale compresi tra 1,5 °C e i 2°C, le migliori opzioni di cui al momento si dispone, è dunque necessario porsi obiettivi ben più restrittivi rispetto a quelli ad oggi previsti e garantire una repentina e significativa riduzione delle emissioni di gas serra in termini assoluti.

1.5 Fonti rinnovabili ed efficientamento energetico: Il caso studio di un'azienda vinicola

Per le considerazioni fatte, risulta evidente come il settore energetico sia strettamente legato alle emissioni di gas serra in atmosfera e di come siano necessari altri provvedimenti nel settore, oltre a quelli già presenti, per garantire migliori prospettive per il clima terrestre.

Alle iniziative istituzionali si possono però affiancare quelle di aziende e privati che ad oggi hanno strumenti di certificazione riconosciuti a livello internazionale che possono utilizzare, su base volontaria, per ridurre il proprio impatto sull'ambiente.

Il lavoro di tesi si concentrerà proprio su questa possibilità, certificando le emissioni di un'azienda vinicola e verificando le opportunità di ridurle, prediligendo gli aspetti energetici diretti (efficientamento energetico del processo produttivo e installazione di impianti a fonti rinnovabili) e indiretti (composizione del mix energetico e densità energetica dei prodotti utilizzati) e ipotizzando un metodo innovativo per la condivisione e l'utilizzo delle certificazioni effettuate, sfruttando una piattaforma basata sulla tecnologia della blockchain per rendere fruibili queste informazioni ai cittadini e portare vantaggi sia ai produttori che ai consumatori stessi oltre che, ovviamente, all'ambiente.

2 Una piattaforma blockchain per la certificazione dell'energia e della CFP

Prima di introdurre l'idea alla base della piattaforma e del suo ipotetico funzionamento, è bene introdurre la tecnologia della blockchain nella sua struttura e nelle sue applicazioni.

2.1 Tecnologia Blockchain

Nata nel 2008 a supporto della valuta digitale Bitcoin, la blockchain è una tecnologia appartenente alla famiglia dei Distributed Ledger (letteralmente *registri distribuiti*) in grado di gestire in modo trasparente ed affidabile le transazioni di asset digitali che intercorrono tra i nodi di una rete virtuale. Il database (o registro) su cui poggia le fondamenta è composto da un insieme di strutture digitali crittografate chiamate "blocchi" contenenti informazioni relative alle transazioni e collegati tra loro a formare una catena.

A partire dalla blockchain Bitcoin, dedicata alla gestione della cripto-valuta, sono state sviluppate numerose altre blockchain con caratteristiche e impieghi differenti: la trattazione tenterà di illustrare i concetti principali attorno a cui ruota il funzionamento della blockchain e di evidenziare le diverse tipologie di blockchain ad oggi esistenti.

2.1.1 Sistemi centralizzati e sistemi distribuiti

Il termine *ledger* letteralmente significa "libro mastro" e fa dunque riferimento al registro della contabilità.

In una rete basata su un sistema centralizzato, il registro è in possesso di un solo nodo, il nodo centrale, che deve essere interpellato per la registrazione di tutte le transazioni di beni immateriali e dispone dunque dell'autorità di verificare la correttezza delle transazioni e di modificare il registro della contabilità.

Un esempio di sistema centralizzato è quello della gestione dei conti correnti da parte delle banche: per ogni scambio di valuta tra due utenti, la banca viene interpellata, garantendo la disponibilità del bene e la registrazione del passaggio della proprietà virtuale. Il saldo dei conti correnti viene dunque aggiornato in funzione delle transazioni avvenute e registrate sul libro mastro in possesso della banca. I singoli nodi, gli utenti, hanno informazioni relative esclusivamente alle informazioni personali, ovvero al proprio conto corrente.

Un sistema centralizzato richiede dunque l'esistenza di un intermediario, il nodo centrale, che comporta dei costi di gestione e a cui gli altri nodi sono costretti ad affidarsi. Essendo inoltre la gestione della rete concentrata nell'ambito di un singolo nodo, la rete è maggiormente vulnerabile a guasti tecnici ed esposta a eventuali attacchi informatici.

A differenza di un sistema centralizzato, in un sistema distribuito non esiste nessun nodo centrale e non vi è bisogno di alcun tipo di intermediario nella gestione delle informazioni in quanto ciascuno dei nodi che costituiscono la rete possiede una propria copia del ledger.

Ogni volta che una transazione viene concordata tra due nodi, essa viene comunicata a tutti i nodi della rete i quali ne verificano la validità e aggiornano i registri in loro possesso: questo meccanismo permette non solo di annullare i costi di gestione della rete dovuti alla presenza di un intermediario ma garantisce anche un elevatissimo livello di trasparenza in quanto ogni nodo della rete viene informato delle transazioni di tutti gli altri nodi.

In figura 17 si riporta uno schema che evidenzia le differenze tra un sistema basato su un registro centralizzato e uno basato su un registro distribuito.

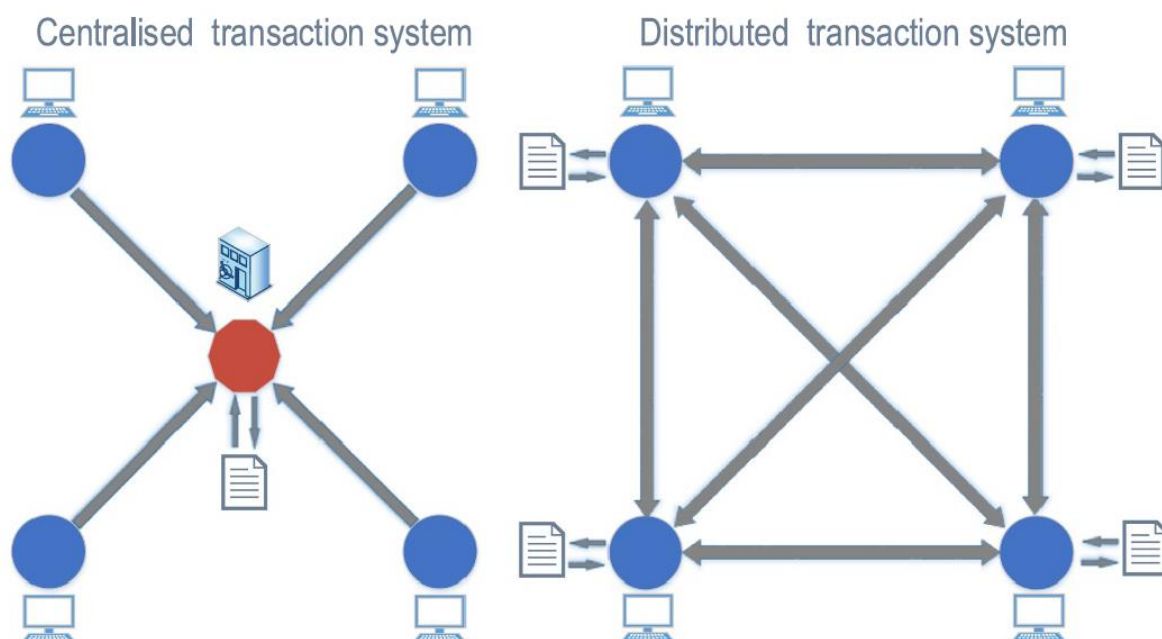


Figura 17. Schema di funzionamento di sistemi centralizzati e distribuiti, tratto da “Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities” di Andoni et al.

Nel caso di un sistema distribuito, la rete si trova inoltre ad avere una maggiore resilienza rispetto ad attacchi informatici ed eventuali frodi: il meccanismo di convalida attuato da ciascuno dei nodi si basa infatti sul confronto tra la copia del database in proprio possesso e quella aggiornata sottoposta al processo di validazione; in caso di incongruenze la transazione non viene convalidata in quanto basata su un registro corrotto. Questo meccanismo, noto come *meccanismo di consenso*, fa dunque sì che un eventuale attacco informatico volto a corrompere il database dovrebbe avere il controllo del 50 % dei nodi più uno contemporaneamente: quest’operazione risulta pressoché impossibile per reti estese. I vantaggi e le potenzialità dei sistemi a registro distribuito sono chiari ma tali sistemi hanno bisogno di una tecnologia adatta che li sostenga e permetta di modificare e sincronizzare tutte le molteplici copie del registro distribuite sulla rete in modo efficace ed efficiente. La blockchain è una di queste tecnologie.

2.1.2 Struttura dei blocchi

Nella blockchain le informazioni relative alle transazioni avvenute vengono aggregate in strutture digitali temporizzate e crittografate chiamate blocchi i quali vengono legati progressivamente tra loro a formare una catena. Tale catena di blocchi, la blockchain appunto, coincide con il registro di sistema e una sua copia è dunque posseduta da tutti i nodi della rete. Ogni blocco è composto da due differenti parti: l’header e il body.

Nel corpo del blocco (body) sono contenute le informazioni relative alle transazioni avvenute nell’intervallo tra la creazione del blocco precedente e quella del blocco stesso: alcune di queste informazioni possono essere le coordinate temporali della transazione, i nodi coinvolti, la quantità di asset scambiato.

Nell’header (intestazione) sono invece contenute informazioni di gestione del blocco: la loro variare può variare a seconda delle differenti blockchain ma caratteristica fondamentale è che contengano un codice identificativo del blocco stesso e quello del blocco precedente della catena.

In figura 18 è riportata a titolo esemplificativo una schematizzazione del contenuto dei blocchi della blockchain.

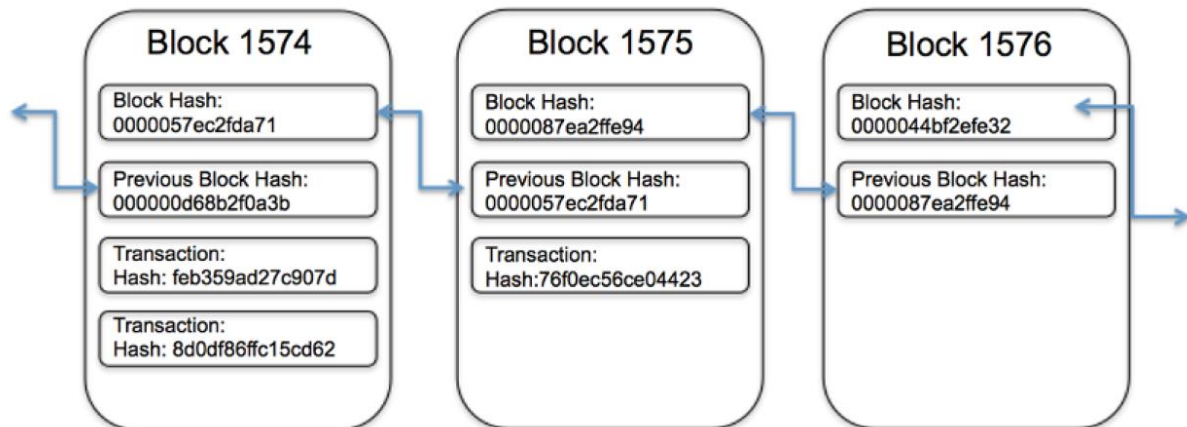


Figura 18. Struttura dei blocchi della blockchain e passaggio del codice di Hash. ("Blockchain for dummies", Manav Gupta)

Tutte le informazioni contenute nel blocco sono crittografate secondo una *funzione crittografica di Hash*.

Si tratta di un algoritmo matematico in grado di convertire un messaggio, un'informazione, di lunghezza variabile, in una stringa di lunghezza fissa chiamata *valore di hash*, o semplicemente *hash*. Caratteristica fondamentale di tale conversione è la *unidirezionalità*: è molto semplice applicare l'algoritmo per ottenere l'hash a partire dal messaggio iniziale ma impossibile effettuare l'operazione opposta senza applicare un metodo *forza bruta* (tentare tutte le soluzioni possibili fino a che non si trova quella corretta).

Una funzione crittografica di hash richiede inoltre che il codice di hash ottenuto dalla conversione sia univoco rispetto al messaggio di input (non è possibile ottenere lo stesso codice di hash partendo da due messaggi differenti per quanto possano essere simili) e deterministico (applicando la funzione al medesimo messaggio si otterrà sempre lo stesso codice di hash).

L'immutabilità caratteristica della blockchain risiede proprio nell'utilizzo degli hash: il codice univoco associato ad ogni blocco viene generato a partire da un messaggio costruito sulla base delle informazioni relative alle transazioni contenuto nel blocco stesso e al codice hash del blocco precedente, a sua volta costruito nello stesso modo.

Questo tipo di legame fa sì che i blocchi siano strettamente legati gli uni agli altri e l'eventuale modifica di un blocco interno alla catena (e di una qualsiasi delle informazioni in esso contenute) costringerebbe alla modifica di tutti i successivi.

2.1.3 Permissionless e permissioned blockchain

Si possono distinguere principalmente due tipologie di blockchain: le blockchain *permissionless* (anche dette *pubbliche* o *aperte*) e le blockchain *permissioned* (dette anche *private* o *chiuse*).

In una permissionless blockchain si osserva una struttura completamente decentralizzata e resistente a qualsiasi tipo di controllo e di censura: chiunque possieda una connessione ad internet può entrare a far parte della rete e acquisisce il diritto di proporre transazioni e di partecipare al meccanismo di consenso per la costruzione della catena di blocchi e dunque al processo di validazione. Questa impostazione comporta l'anonimità degli utenti appartenenti

alla blockchain, sconosciuti gli uni agli altri, e richiede un meccanismo di crittografia asimmetrica (a chiave pubblica e chiave privata) per garantire la privacy dei nodi e un complicato processo di validazione che richiede un grande sforzo computazionale da parte della rete (proof of work), incentivato attraverso remunerazioni in criptovalute, al fine di costruire la blockchain in modo sicuro, immutabile e trasparente. Il più noto esempio di permissionless blockchain è proprio la Blockchain Bitcoin.

In una blockchain privata (permissioned), invece, i nodi sono caratterizzata da un'identità univoca e questo permette di implementare una forma di controllo e gestione che limiti l'accesso agli utenti autorizzati e la quantità di informazioni accessibili ad essi: si crea dunque una distinzione tra *nodi utilizzatori* e *nodi validatori*. I nodi validatori sono conosciuti e fidati e sono i soli ad avere accesso all'intero ledger e ad aver la facoltà di modificare la blockchain prendendo parte al processo di validazione per l'aggiunta di nuovi blocchi. Il meccanismo di consenso non si applica più alla totalità dei nodi della rete ma solo ai validatori.

I nodi utilizzatori hanno invece accesso ad una limitata quantità di informazioni contenute nel registro, solitamente quelle relative alle proprie transazioni, ma variabile rispetto ai gradi di permessi di cui dispongono all'interno della rete.

In figura 19 si riportano, schematizzati, i differenti approcci che caratterizzano una permissionless e una permissioned blockchain:

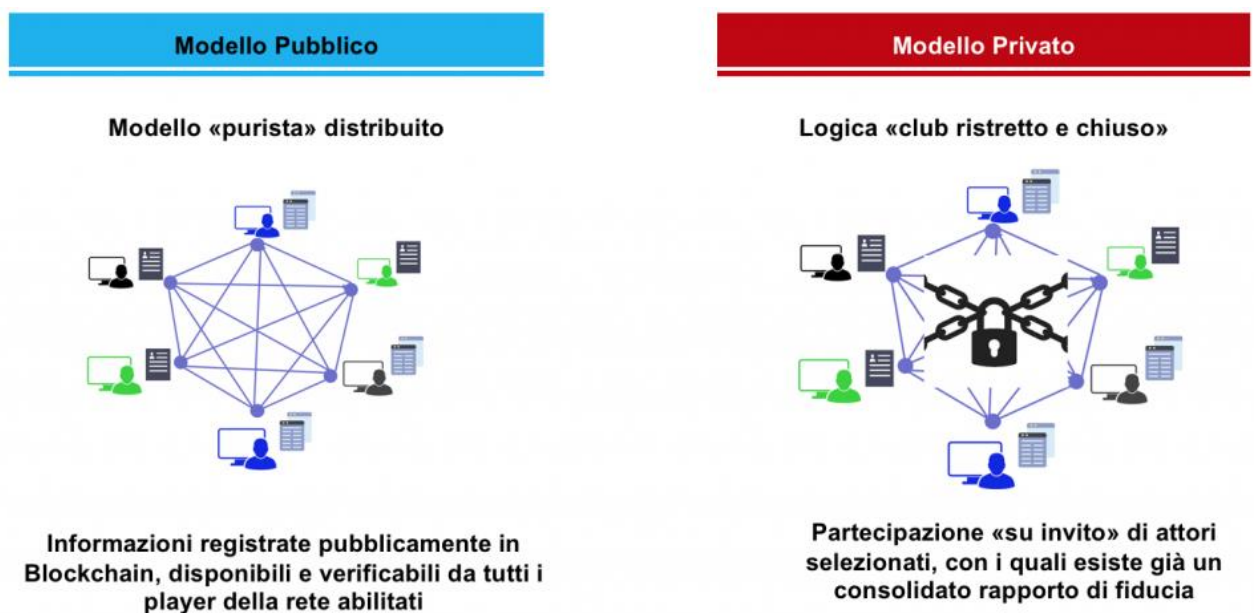


Figura 19. Differenze tra i paradigmi permissionless blockchain e permissioned blockchain. (da "Blockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia" di Mario Bellini)

Una permissioned blockchain permette dunque di evitare i costi di gestione associati alla ricompensa per la proof of work e acquisisce velocità, flessibilità ed efficienza a discapito però dei principi di immutabilità e resistenza alla censura sacrificati nell'affidarsi a dei nodi centralizzati, i nodi validatori. Viene dunque introdotto il concetto di *governance* (amministrazione) ovvero quell'insieme di regole e norme caratterizzanti la blockchain, condiviso da tutti i nodi al fine di garantire la sicurezza della rete.

Per le caratteristiche illustrate, le permissioned blockchain sono particolarmente adatte ad essere applicate a modelli di business.

2.1.4 Smart contract e token

Esiste, in ambito commerciale, la possibilità di stipulare dei contratti che, al verificarsi di determinate condizioni, eseguano delle operazioni predefinite: tali contratti intelligenti vengono chiamati, appunto, *smart contract*.

Si tratta dunque di software che analizzano le informazioni del contesto in cui sono inseriti e, non appena rilevano le condizioni adatte, eseguono le istruzioni per cui sono stati creati.

Il connubio tra smart contract e blockchain aumenta in modo significativo le possibilità di impiego di quest'ultima, unendo tutti i potenziali vantaggi delle transazioni automatizzate alla affidabilità, immutabilità e trasparenza garantite dalla blockchain.

La merce di scambio regolata dagli smart contract, ed in generale utilizzata nelle transazioni su blockchain, prende il nome di *token*.

I token sono gli asset digitali oggetto delle transazioni su blockchain: il primo e più famoso token è proprio il bitcoin.

Il token non ha valore intrinseco ma fornisce a chi lo possiede un diritto di proprietà in funzione del valore attribuito al token stesso al di fuori della blockchain cui appartiene: con riferimento al bitcoin, ad esempio, il possesso di un token non garantisce una somma in denaro definita ma il possessore può riscattare il bitcoin in suo possesso per una cifra in denaro pari al valore di mercato del bitcoin all'istante della vendita.

Vi sono dunque token assimilabili al concetto di moneta, come il bitcoin, che possono essere riscattati per denaro, ma esistono anche token che garantiscono "diritti di proprietà" su beni o servizi. Su alcune blockchain vi è inoltre la possibilità di utilizzare una categoria di token più articolata, chiamati *token etichettati*, i quali sono dei metadati, rappresentazioni digitali di beni ben identificati e reali.

2.1.5 I vantaggi della blockchain

Avendo illustrato le caratteristiche e i concetti fondamentali legati alla blockchain, può a questo punto essere utile riassumere i principali vantaggi dovuti all'utilizzo di questa tecnologia:

- **Decentralizzazione:** un registro distribuito permette di attuare transazioni senza il bisogno di alcun tipo di intermediario, abbattendo i costi di gestione. La ridondanza dei dati rende più resistente il sistema rispetto ad eventuali problemi tecnici e alla perdita di informazioni;
- **Trasparenza:** nelle permissionless blockchain tutti i nodi della rete hanno accesso a tutti i dati relativi alle transazioni e mentre tale principio si realizza attraverso la condivisione dei principi e delle regole di governance nelle permissioned blockchain;
- **Tracciabilità e immutabilità:** una volta inserita una transazione all'interno di un blocco della catena, essa non è più modificabile né rimuovibile. Ogni transazione è sempre dunque tracciabile da tutti i nodi. Il complesso sistema di crittografia e la logica di costruzione della blockchain garantiscono inoltre l'impossibilità di frodare il sistema a meno di controllare più della metà dei nodi contemporaneamente.
- **Automazione:** il meccanismo del consenso e l'implementazione degli smart contract rendono la blockchain in grado di funzionare anche senza il coinvolgimento costante e diretto dell'uomo.

Tutte queste caratteristiche hanno portato alla sperimentazione e all'applicazione della blockchain nei più disparati settori, tra i quali spicca, per numero di applicazioni e potenzialità di sviluppo, il settore energetico.

2.1.6 Applicazioni della blockchain nel settore energetico

Sono sempre più numerose le applicazioni di tecnologia blockchain all'interno del settore energetico: le grandi prospettive di sviluppo hanno portato a sperimentare l'utilizzo di tale tecnologia in molteplici aspetti della filiera di produzione e gestione dell'energia.

Nella figura successiva è riportata la suddivisione dei differenti ambiti applicativi coinvolti in questo processo individuata da Andoni et al. nel paper "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities".

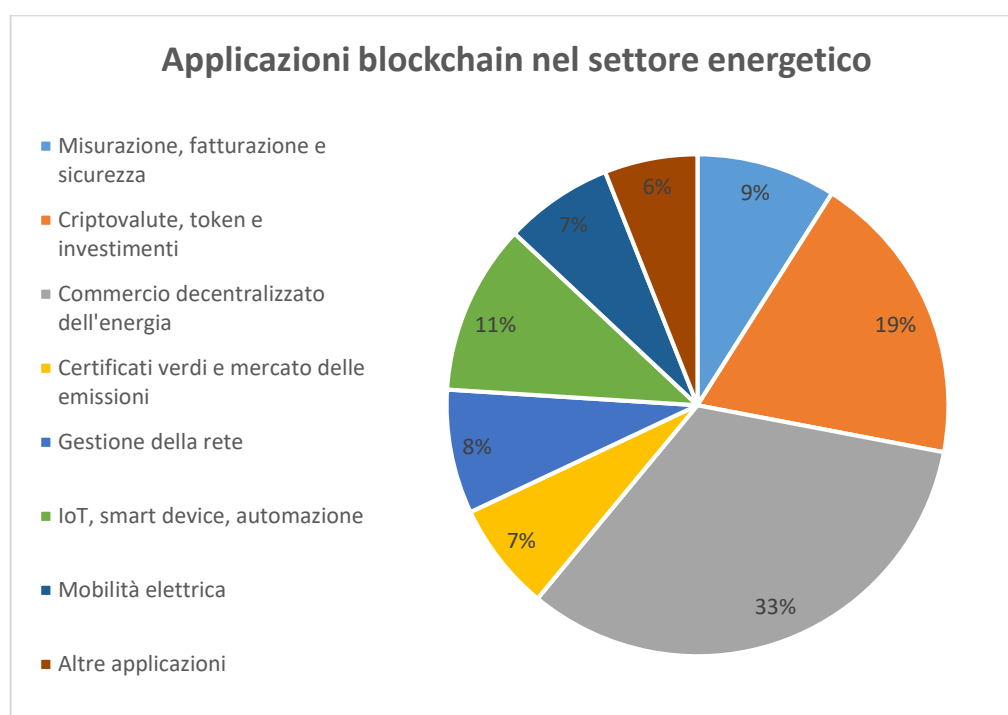


Figura 20. Panoramica delle applicazioni blockchain nel settore energetico. (Andoni et al., "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities")

La voce più importante riportata nel grafico è quella relativa al commercio decentralizzato dell'energia: la decentralizzazione e l'automazione della blockchain hanno infatti fornito il substrato tecnologico necessario allo sviluppo di un innovativo modo di concepire la rete e le transazioni di energia, le smart grid energetiche.

Si tratta di reti di distribuzione di energia elettrica dalle dimensioni limitate ma i cui utenti non sono esclusivamente consumer (consumatori) bensì prosumer, oltre alla possibilità di prelevare (e dunque acquistare) energia dalla rete hanno infatti anche la possibilità di immettere (vendere) su di essa energia autoprodotta (ad esempio da fonti rinnovabili). Il termine prosumer deriva dalla crasi dei termini producer e consumer (produttore e consumatore).

Senza l'utilizzo della blockchain sarebbe proibitivo implementare il concetto di smart grid energetica a causa dell'enorme difficoltà nel bilanciare le quantità di energia immessa e prelevata dalla rete da molteplici nodi e nella gestione di crediti e debiti dei singoli utenti, ostacoli superati proprio grazie a smart contract e token.

La gestione e lo sviluppo delle smart grid fanno quindi riferimento anche ad altre voci presenti nel diagramma come “gestione della rete”, appunto, e l’implementazione di IoT (Internet of Things) e di utilizzo di smart device al fine di automatizzare le operazioni di misura, programmazione e certificazione dei consumi (con riferimento dunque anche alla voce “Misurazione, fatturazione e sicurezza”).

Rilevante ai fini della trattazione è l’applicazione relativa alla certificazione delle emissioni e al commercio dei titoli di compensazione delle emissioni.

L’idea della piattaforma alla base del lavoro di tesi si colloca infatti nel campo delle applicazioni volte alla certificazione delle emissioni, con un importante ruolo dell’Internet of Things e l’utilizzo di smart devices.

2.2 Struttura della piattaforma che premia i comportamenti virtuosi

L’obiettivo con cui è stata ideata la piattaforma proposta è quello di dare a tutti i cittadini la possibilità di avere un ruolo di rilievo nella lotta al riscaldamento globale, rendendo produttori e consumatori attori significativi del processo di abbattimento delle emissioni di gas serra.

La piattaforma vuole infatti essere uno strumento attraverso cui certificare le impronte emissive dei prodotti e dei servizi erogati dalle aziende che vi prendono parte e condividere le informazioni così ottenute con i consumatori, sensibilizzandoli al tema della lotta alle emissioni di gas serra e premiando la scelta di acquisti consapevoli ed eco-friendly attraverso appositi incentivi.

2.2.1 Il meccanismo virtuoso

Alla base della piattaforma vi è l’idea di instaurare un meccanismo virtuoso che incentivi le aziende a implementare sistemi di monitoraggio e di gestione delle emissioni di gas serra, intervenendo concretamente per ridurle, e spinga i consumatori, corrispondendo loro agevolazioni economiche, ad acquistare i prodotti e servizi forniti da tali aziende in ragione dell’impegno dimostrato da quest’ultime.

È possibile schematizzare l’intero processo attraverso alcuni step definiti:

1. **Riduzione dei consumi energetici e delle emissioni:** l’azienda, interessata ad entrare a far parte della piattaforma, implementa un sistema di gestione dell’energia e di rendicontazione delle emissioni di gas serra (inventario dei GHG), calcolando l’impronta emissiva dei prodotti e servizi forniti (C.F.P., Carbon Footprint of a Product). Interviene quindi concretamente per ridurre le impronte emissive dei prodotti e valuta in modo chiaro e oggettivo il risparmio emissivo ottenuto. Tutte queste azioni devono essere compiute secondo le linee guida e le disposizioni di specifici standard internazionali: può risultare necessario all’azienda affidarsi alla consulenza di una Energy Service Company (ESCo).
2. **Certificazioni energetiche ed ambientali:** Il lavoro fatto viene sottoposto ad un ente certificatore che, una volta verificata la consistenza e pertinenza delle azioni di cui allo step 1, certifica l’azienda secondo le relative normative internazionali (ISO 50001, ISO 14064-1, ISO 14067).
3. **Inserimento su blockchain:** le informazioni ottenute e certificate, associate ad un preciso prodotto o servizio, vengono inserite sulla piattaforma blockchain. Viene costruito un apposito smart contract che associ a ciascun prodotto un

corrispettivo valore di eco-token, proporzionale al quantitativo di emissioni di gas serra risparmiate attraverso gli interventi di cui allo step 1.

4. **Acquisto prodotti e servizi “green”:** Attraverso un apposito meccanismo (QRcode o codice prodotto) il consumatore, precedentemente registratosi sulla piattaforma, può accedere alle informazioni contenute sulla blockchain relative al prodotto e, nel momento in cui ne certifica l’acquisto, gli viene accreditata la quantità di eco-token prevista dallo smart contract di riferimento.
5. **Riscatto eco-token:** Riscattando gli eco-token cumulati, il consumatore può accedere a delle agevolazioni economiche rese disponibili da tutte le aziende che prendono parte alla piattaforma. Sconti sugli acquisti successivi, speciali offerte e servizi extra saranno il premio per la scelta virtuosa del consumatore, che sarà dunque incentivato a ripetere tale scelta.

In figura 21 sono rappresentati gli step sin qui descritti.

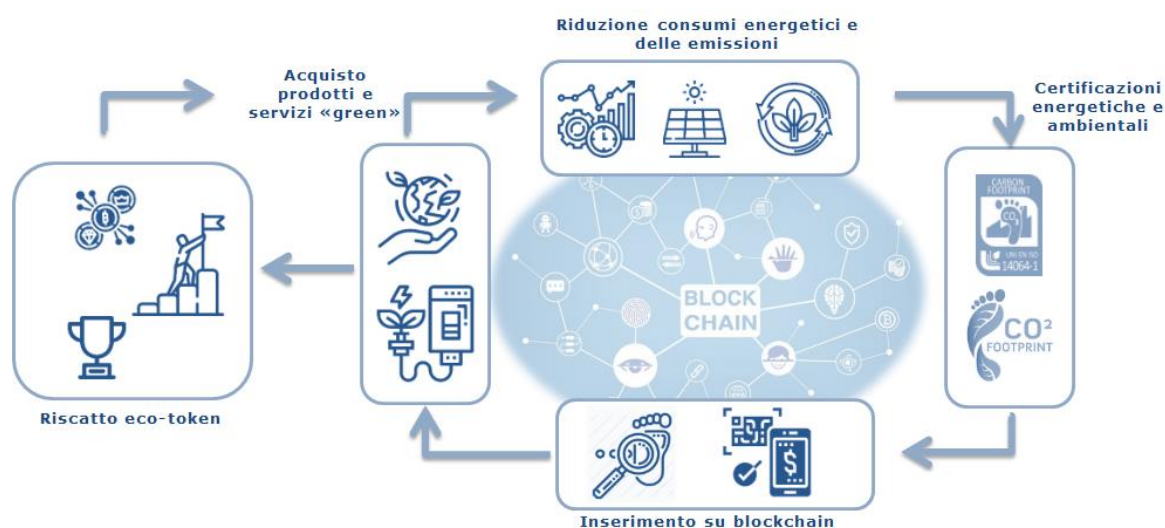


Figura 21. Schema di funzionamento della piattaforma blockchain.

Si noti come sia possibile incastonare gli step evidenziati all’interno di un circolo, un circolo virtuoso: i maggiori profitti derivati dalla vendita dei prodotti e dei servizi presenti sulla piattaforma dovrebbero incentivare l’azienda a virare la propria produzione sempre più verso il ramo di prodotti “green”, investendo in nuovi interventi di efficientamento e risparmio emissivo e collegando quindi lo step 4 e lo step 5 nuovamente allo step 1. A fronte di un ampliarsi della possibilità di scelta dei prodotti e delle aziende partecipanti alla piattaforma, inoltre, gli acquirenti dovrebbero essere a maggior ragione più disponibili ad acquistare prodotti e servizi legati alla piattaforma e ad accumulare maggior quantità di eco-token.

2.2.2 Vantaggi per produttori e consumatori

La scelta di prendere parte alla piattaforma garantisce dunque vantaggi tanto ai produttori quanto ai consumatori.

In particolare, per i produttori:

- **Certificazione riconosciuta a livello internazionale:** le certificazioni effettuate al fine di entrare a far parte del meccanismo attuato dalla piattaforma sono attestazioni riconosciute a livello internazionale e pertanto spendibili in ambito di marketing anche al di fuori della piattaforma;

- **Effetto positivo sulla reputazione del brand:** far parte della piattaforma rappresenta agli occhi del consumatore un segno diretto e concreto dell'impegno dell'azienda nella lotta al cambiamento climatico;
- **Possibilità di ampliare il bacino di clienti:** gli eco-token guadagnati dai consumatori possono essere riscattati con agevolazioni economiche relative a prodotti e servizi delle aziende inserite nel contesto della piattaforma. Questo può spingere l'utente a scegliere di provare prodotti di aziende di cui non è solito essere cliente.

Per i consumatori:

- **Accessibilità ad informazioni relative ai prodotti:** affidandosi alla piattaforma il cittadino ha accesso in modo rapido ed efficiente alle informazioni relative all'impatto emissivo di un prodotto, permettendo di eseguire acquisti con maggior consapevolezza;
- **Protagonismo nella lotta al riscaldamento globale:** Informare il cittadino significa dargli gli strumenti necessari a scegliere i prodotti più rispettosi del clima e dell'ambiente, dandogli la possibilità di agire in modo diretto nella riduzione di emissioni;
- **Premi in eco-token:** Il riscatto degli eco-token guadagnati garantisce ai consumatori diritto a sconti e agevolazioni di natura economica rispetto all'acquisto di beni e servizi.

2.2.3 Utilizzo della blockchain

La blockchain fornisce la base tecnologica per la realizzazione della piattaforma conferendo, grazie alle sue caratteristiche e potenzialità, consistenza agli step prima evidenziati: l'immutabilità e la tracciabilità tipiche della blockchain, ad esempio, permettono di rendere trasparente agli occhi degli acquirenti tutto il procedimento informativo.

La possibilità inoltre di implementare numerosi e variegati smart contract, specifici per ogni prodotto e servizio, permette di automatizzare e dettagliare al meglio il processo di incentivazione nei confronti dell'acquirente, valutando anche la possibilità di non utilizzare una singola tipologia di eco-token ma di variegare anche questo tipo di ricompensa, senza ulteriori impedimenti tecnologici, per rispondere al meglio a qualsiasi tipo di esigenza possa presentarsi durante lo sviluppo della piattaforma.

Per le considerazioni effettuate e per la natura della piattaforma, si ipotizza di utilizzare una permissioned blockchain, ovvero una blockchain chiusa e privata, nella quale i consumatori, dopo essersi registrati e aver dunque dato un'identità univoca al proprio nodo, rappresentino dei nodi utilizzatori mentre i certificatori, le ESCo e le aziende coinvolte rappresentino invece i trusted, ovvero i nodi validatori della catena.

2.2.4 Estensioni dell'applicazione

Quella illustrata sinora è l'ipotetica struttura della piattaforma ideata, rappresentata nelle sue caratteristiche fondamentali e sviluppata attorno ai concetti di Carbon Footprint di un prodotto e di contrasto al riscaldamento globale.

Una volta implementata, però, tale piattaforma potrebbe facilmente estendersi a coprire più casistiche, esulando dai due binari attorno a cui è stata sviluppata la trattazione.

Si potrebbe ad esempio decidere di estendere la valutazione del quantitativo di emissioni di gas serra risparmiate non solo a quelle legate alla CFP dei prodotti acquistati ma anche a quelle

ottenute grazie ai comportamenti virtuosi dei cittadini: sarebbe ad esempio possibile remunerare con eco-token i cittadini che accortamente risparmiano energia elettrica nelle loro abitazioni o consumano poco riscaldamento grazie ad un'attenta gestione dell'impianto domestico; si potrebbe addirittura tentare di analizzare lo stile di guida degli automobilisti ricompensando quelli più ecologici. Per fare ciò bisognerebbe prevedere un potenziamento da un punto di vista dell'IoT, dovendo far massiccio utilizzo di sensori e dispositivi di elaborazione dei dati.

Sull'altro versante si potrebbe invece decidere di esulare dal solo riscaldamento globale e comprendere nell'analisi anche altre categorie di impatto ambientale come impronta idrica, acidificazione, danneggiamento dell'ozono stratosferico, tossicità, radiazione e eutrofizzazione, arrivando ad avere un ritratto più complesso e completo degli impatti ambientali dovuto all'acquisto dei prodotti, assegnando magari eco-token differenziati (sottoforma di token etichettati) secondo la categoria di impatto che si vuole contrastare.

2.2.5 Realizzazione della piattaforma

Il percorso pare tracciato nei suoi svincoli macroscopici ma la realizzazione di una piattaforma come quella sinora descritta richiede un forte investimento di risorse e di tempo e la presenza di numerosi attori con competenze tecniche variegata e multidisciplinari.

Non potendo sperare di coprire in modo esaustivo tutti gli aspetti relativi ad una simile impresa, si è deciso di limitare il lavoro di tesi all'approfondimento degli aspetti maggiormente energetici e, in particolare, al lavoro di rendicontazione dei gas serra e del calcolo della CFP secondo gli standard internazionali, sfruttando alcuni dei dati raccolti da un sistema di gestione dell'energia.

Per questo motivo la trattazione proseguirà con un capitolo volto all'approfondimento delle normative relative agli argomenti in precedenza introdotti per poi illustrare, nei capitoli successivi, un'applicazione dei procedimenti di certificazione ad un caso studio.

3 Normative energetiche ed ambientali di riferimento

Nella trattazione successiva verranno analizzate alcune parti delle normative utilizzate nel lavoro di tesi, limitandosi ad illustrare e ad approfondire gli aspetti più rilevanti e pertinenti al lavoro compiuto, utili alla comprensione dell'approccio con cui ci si è avvicinati alle normative stesse e alle elaborazioni effettuate nel successivo caso studio riportato.

I paragrafi seguenti non sono dunque da intendersi come una guida esaustiva di tutti i contenuti e delle procedure previste dalle normative analizzate.

3.1 Certificazioni energetiche: cenni alla UNI EN ISO 50001

La certificazione UNI EN ISO 50001, sottotitolata "Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso", ha come obiettivo quello di aiutare e guidare le organizzazioni nell'implementazione di un Sistema di Gestione dell'Energia (SGE) che permetta, con un approccio appunto sistematico, di perseguire il miglioramento continuo delle prestazioni energetiche.

Un approccio sistematico indica appunto una prospettiva declinata in termini di "sistema" nel suo complesso e non nelle sue singole componenti: questo significa che applicando un SGE un'organizzazione non si limiterà a portare avanti una sequenza slegata di progetti ma condurrà ogni nuovo progetto secondo una strategia ben definita e basata sulla complessità del sistema.

La normativa UNI EN ISO 50001 fonda in particolare la propria struttura sul ciclo di Deming, spesso indicato con l'acronimo PDCA (PLAN-DO-CHECK-ACT, ovvero Pianificare-Fare-Verificare-Agire), un metodo di gestione iterativo utilizzato tipicamente per il miglioramento continuo della qualità di un prodotto o di un servizio e in questo caso declinato in ambito energetico.

Nella figura seguente si riporta lo schema di funzionamento del ciclo di Deming.

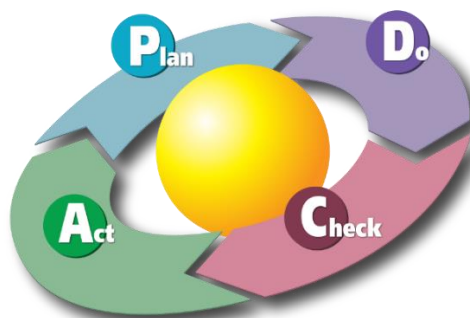


Figura 22. Schema di funzionamento del ciclo PDCA (https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_di_Deming)

Secondo le indicazioni della normativa è però necessario che l'organizzazione, prima di dar vita al ciclo di Deming, definisca e documenti la propria *Politica Energetica*.

Nei paragrafi successivi verranno brevemente illustrate le caratteristiche relative al concetto di "politica energetica" e alle differenti fasi del ciclo di Deming declinate all'interno dei SGE.

3.1.1 Politica energetica

Con il termine "politica energetica" utilizzato in relazione ad una data organizzazione, si intende una dichiarazione scritta con cui la direzione dell'organizzazione si impegna a migliorare le prestazioni energetiche dell'organizzazione stessa e definisce le linee guida necessarie al raggiungimento di tale impegno.

La politica energetica così definita deve:

- essere adeguata alle dimensioni e alla natura dell'organizzazione e alla portata dei consumi;
- esplicitare l'impegno verso un miglioramento continuo;
- assicurare l'impegno da parte della direzione dell'organizzazione di rendere disponibili le risorse e le informazioni necessarie al raggiungimento degli obiettivi predefiniti;
- fornire i criteri e i riferimenti per la definizione e la verifica di obiettivi e traguardi energetici;
- essere documentata e comunicata a tutti i livelli dell'organizzazione;
- essere verificata periodicamente e aggiornata.

La definizione della politica energetica ha una rilevanza fondamentale nel contesto della normativa in quanto alle quattro fasi del ciclo PDCA, illustrate di seguito, viene richiesta congruenza proprio rispetto a quanto esposto nella dichiarazione di politica energetica.

3.1.2 Il ciclo di Deming per la gestione dell'energia

Plan

In questa fase l'organizzazione deve, coerentemente con la politica energetica, definire e documentare un processo di pianificazione energetica che conduca ad interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche.

Fondamentali per questa fase sono lo sviluppo ed il mantenimento nel tempo di una *energy review*, ovvero un'analisi energetica nella quale figurino gli utilizzi ed i consumi di energia (basati su misurazioni, fatturazioni o altri tipi di stime), le fonti energetiche coinvolte, le aree e i sistemi dell'organizzazione caratterizzati da usi significativi di energia e le opportunità di riduzione dei consumi e aumento delle prestazioni energetiche.

Con la realizzazione della prima *energy review*, inoltre, l'organizzazione stabilisce una *energy baseline* ovvero la rappresentazione della situazione energetica iniziale rispetto alla quale verificare i futuri cambiamenti e migliorie.

Risulta inoltre essenziale la definizione di appropriati *Indicatori di prestazione energetica* (EnPI, Energy Performance Indicator), ovvero precisi parametri coerenti con l'*energy review* effettuata utilizzati come indicatori, appunto, del livello di efficienza energetica caratterizzante l'organizzazione e i suoi processi.

La fase di pianificazione termina quindi con la definizione di obiettivi e traguardi di natura energetica ben precisi, con annesse scadenze, coerenti con la politica energetica definita e adeguati ai risultati evidenziati attraverso la *energy review*, corredandoli di piani d'azione che descrivano strutture organizzative e metodi atti a raggiungere le mete definite.

Do

Utilizzando i piani d'azione individuati nella fase di pianificazione, l'organizzazione di fatto mette in moto il Sistema di Gestione dell'Energia.

In questa fase è necessario verificare e provvedere alla formazione di tutto il personale coinvolto nella realizzazione dei piani d'azione, e rendere consapevole il personale tutto dell'importanza nel perseguire i piani d'azione proposti.

Il funzionamento e i risultati del SGE devono essere documentati e comunicati al personale di tutti i livelli dell'organizzazione, fornendo la possibilità a tutti i lavoratori che operano nell'ambito dell'organizzazione di commentare e dare suggerimenti sul funzionamento del SGE stesso.

Ove sono presenti opportunità di miglioramento delle prestazioni energetiche significative e coerenti con la politica energetica, l'organizzazione è chiamata a progettare modifiche di impianto o di sostituzione e a registrare i risultati di tale progettazione.

Check

Nella fase di controllo l'organizzazione deve ricorrere all'utilizzo di un sistema di monitoraggio atto a controllare periodicamente i fattori fondamentali dell'efficienza energetica dell'organizzazione stessa: gli usi significativi di energia, gli EnPi precedentemente individuati, l'efficacia dei piani d'azione e eventuali scostamenti dei consumi energetici rispetto alle previsioni effettuate.

Per rendere possibile questo tipo di monitoraggio deve essere definito e attuato un adeguato piano di misura dell'energia.

Uno strumento molto importante in questa fase è quello degli *audit interni* ovvero verifiche, pianificate e periodiche, della conformità del Sistema di Gestione dell'Energia rispetto ai requisiti della normativa e ai piani d'azione previsti.

Tutti i risultati così raccolti devono essere registrati, conservati e revisionati periodicamente al fine di individuare eventuali deviazioni significative delle prestazioni energetiche: una volta individuate è necessario che l'organizzazione disponga delle azioni correttive e preventive le quali verranno a loro volta verificate durante l'audit successivo.

Act

Sulla base dei risultati rilevati durante la fase di controllo (check) si attua la fase di riesame del Sistema di Gestione dell'Energia effettuata dalla direzione dell'organizzazione ad intervalli pianificati al fine di assicurarne l'idoneità, l'adeguatezza e l'efficacia nel tempo.

A seguito di tale riesame vengono eventualmente prese decisioni correttive in merito a modifiche nella politica energetica, variazioni nelle definizioni degli indicatori di prestazione energetica e eventuali riallocazioni delle risorse messe a disposizione.

Al termine di questa fase è possibile ripartire con la fase di pianificazione, forti delle modifiche apportate durante la fase di act.

3.2 Certificazioni ambientali

La serie di norme ISO 14000 rappresenta il corpus normativo dell'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione rivolto alla protezione ambientale. Tutte le normative che lo compongono hanno natura volontaria.

In questa serie figura una famiglia di normative dedicata alla prevenzione del riscaldamento globale attraverso la lotta alle emissioni di gas serra: la famiglia delle ISO 14060.

3.2.1 La famiglia delle ISO 14060

Le normative appartenenti a tale famiglia hanno come scopo quello di strutturare e omogenizzare i processi di monitoraggio, quantificazione e comunicazione delle fonti di emissione e rimozione di gas serra per promuovere la transizione verso un'economia a bassa impronta di carbonio.

Ciascuna delle normative si concentra su singoli aspetti del processo di controllo dei gas ad effetto serra:

- **ISO 14064-1** “Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals”: *contiene le linee guida e i requisiti per la costruzione dell’inventario dei GHG a livello di organizzazione.*
- **ISO 14064-2** “Greenhouse gases - Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements”: *contiene le linee guida per la definizione di un “GHG project” ovvero un insieme di attività atte a modificare lo stato delle emissioni (GHG baseline) implementando aumenti delle rimozioni dei gas serra e/o riduzioni delle emissioni dei gas serra.*
- **ISO 14064-3** “Greenhouse gases – Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements”: *descrive i criteri con cui si debbono verificare le dichiarazioni relative a Inventari dei GHG, GHG project e Carbon Footprint di prodotti.*
- **ISO 14065** “Greenhouse gases: Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition” e **ISO 14066** “Greenhouse gases: Competence requirements for greenhouse gas validation teams and verification teams”: *queste due normative specificano i requisiti e le competenze necessarie agli enti certificatori.*
- **ISO 14067** “Greenhouse gases - Carbon footprint of products: Requirements and guidelines for quantification”: *definisce i requisiti e le linee guida per la quantificazione dell’impronta di carbonio (carbon footprint) di un prodotto.*

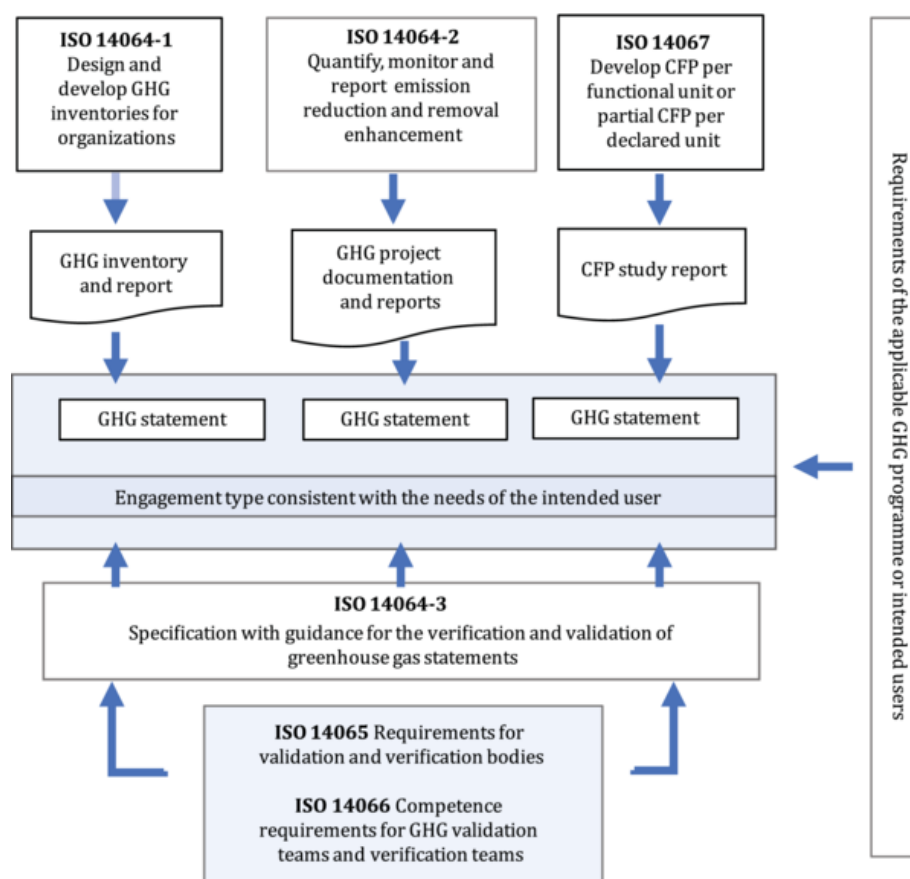


Figura 23. La famiglia delle ISO 14060 (dall'introduzione al testo della normativa ISO 14064-1, 2018)

In figura 23, vengono schematizzate le relazioni che intercorrono tra le differenti normative appartenenti alla famiglia delle ISO 14060.

Durante il lavoro di tesi sono state prese come riferimento principale due delle normative sopra citate: la ISO 14064-1 e la ISO 14067, entrambe nella loro edizione del 2018.

3.2.2 ISO 14064-1

La normativa ISO 14064-1, come già indicato in precedenza, ha come scopo quello di delineare e chiarificare linee guida e principi per la costruzione di un inventario dei gas serra definendo le fasi di progettazione, sviluppo, gestione, verifica e comunicazione dell'inventario stesso.

L'ambito di azione della normativa è quello dell'organizzazione, ovvero di un qualsiasi gruppo di persone (ente, società, azienda, impresa), di natura pubblica o privata, che sia dotato di una propria struttura funzionale e amministrativa.

I principi della ISO 14064-1

La costruzione dell'inventario dei GHG viene definita sulla base di cinque principi fondamentali:

- **Rilevanza:** la scelta delle sorgenti, degli assorbitori e dei serbatoi di gas serra, delle metodologie e dei dati deve essere pertinente al tipo di utenza previsto per la fruizione dell'inventario.

Con i termini "sorgente", "assorbitore" e "serbatoio" si indicano, rispettivamente, processi che rilasciano gas serra in atmosfera, processi che rimuovono gas serra dall'atmosfera, componenti differenti dall'atmosfera in grado di immagazzinare gas serra al proprio interno (ne sono un esempio i vegetali).

- **Completezza:** Tutte le sorgenti, gli assorbitori e i serbatoi di gas serra considerati rilevanti devono essere inclusi nella costruzione dell'inventario.
- **Coerenza:** L'inventario deve dare la possibilità di fare confronti significativi tra le informazioni relative ai gas serra.
- **Accuratezza:** Per quanto possibile bisogna ridurre le incertezze e gli errori relativi ai dati utilizzati.
- **Trasparenza:** La quantità di informazioni relative ai gas serra presenti nell'inventario deve essere sufficiente a permettere ai destinatari finali di prendere delle decisioni con un'adeguata consapevolezza.

I confini dell'inventario

Per procedere alla costruzione dell'inventario è necessario che l'organizzazione definisca i confini organizzativi a cui si vuole fare riferimento per ognuna delle facility (installazioni) appartenenti all'organizzazione stessa.

La normativa propone due possibili approcci nella definizione dei confini:

- **Controllo:** l'organizzazione decide di considerare e rendicontare solo le emissioni e rimozioni dovute alle installazioni su cui ha il pieno controllo operativo o finanziario
- **Equa ripartizione:** l'organizzazione considera e rendiconta le emissioni e rimozioni relative a tutte le installazioni presenti ma esclusivamente in proporzione alla quota di sua competenza

La scelta dell'approccio deve tenere conto dei principi enunciati nel paragrafo precedente ed in particolare deve quindi essere coerente rispetto alla destinazione dell'inventario e permettere un'accuratezza adeguata nelle fasi successive.

Una volta effettuata la scelta dell'approccio è necessario svolgere un'analisi preventiva delle operazioni compiute nell'ambito delle installazioni selezionate e dei tipi di emissioni ivi presenti.

In prima battuta è richiesto di indicare separatamente le emissioni e rimozioni dirette dalle emissioni indirette:

- **Emissioni dirette:** emissioni di GHG dovute a sorgenti di GHG appartenenti all'organizzazione o controllate da essa;
- **Rimozioni dirette:** analogamente alle emissioni dirette, sono le rimozioni di GHG dovute ad assorbitori appartenenti o controllati dall'organizzazione;
- **Emissioni indirette:** emissioni di GHG dovute a sorgenti di GHG non appartenenti o controllate dall'organizzazione ma conseguenti alle attività dell'organizzazione.

Nella definizione delle emissioni indirette l'organizzazione è chiamata a selezionare quali emissioni rendicontare all'interno dell'inventario e quali invece escludere attraverso la definizione e documentazione di criteri per la valutazione della significatività delle sorgenti: tale discernimento deve essere fatto nel rispetto dei principi su cui si basa la normativa e non può dunque portare all'esclusione di significative emissioni indirette.

I criteri adottati dall'azienda dovranno inoltre essere verificati periodicamente e aggiornati qualora fosse necessario.

La normativa richiede che, una volta individuate tutte le sorgenti e gli assorbitori, esse vengano organizzate secondo le seguenti categorie:

- a) Emissioni e rimozioni dirette di GHG
- b) Emissioni indirette di GHG dovute all'importazione di energia
- c) Emissioni indirette di GHG dovute ai trasporti
- d) Emissioni indirette di GHG associate a prodotti utilizzati dall'organizzazione
- e) Emissioni indirette di GHG dovute all'utilizzo di prodotti venduti dall'organizzazione
- f) Emissioni indirette di GHG da altre sorgenti

Per ciascuna di queste categorie inoltre le emissioni presenti devono suddivise secondo la loro natura di:

- **Emissioni biogeniche antropogeniche:** emissioni dovute all'ossidazione del carbonio biogenico, ovvero derivato da biomassa (non combustibili fossili) e generate a causa dell'attività umana;
- **Emissioni non-biogeniche:** emissioni non generate dall'ossidazione del carbonio biogenico;
- **Emissioni biogeniche non-antropogeniche:** emissioni derivate dalla biomassa ma causate da disastri naturali o evoluzioni spontanee; vengono rendicontate solo su scelta dell'organizzazione.

Gas serra e GWP

La normativa richiede esplicitamente che vengano rendicontati separatamente le emissioni relative ad alcune tipologie di gas serra: CO₂, CH₄, N₂O, NF₃, SF₆ e altri gruppi di GHG che siano ritenuti pertinenti (ad esempio HFC e PFC): tali emissioni devono essere espresse in tonnellate di CO₂ equivalente (tCO_{2,eq}) attraverso l'utilizzo di appropriati GWP.

L'acronimo GWP fa riferimento al Global Warming Potential (Potenziale di riscaldamento globale), un fattore che descrive i danni che una molecola di un determinato gas serra apporta all'atmosfera, paragonando tali effetti a quelli generati da una molecola di CO₂. È quindi un fattore di conversione tra la massa del gas serra emesso in atmosfera e la quantità di anidride carbonica equivalente necessaria a provocare il medesimo effetto. L'utilizzo delle tonnellate di CO_{2,eq} come unità di misura permette di omogenizzare le emissioni di differenti gas serra rendendole confrontabili tra loro.

A causa del diverso tasso di degradazione delle differenti molecole in atmosfera, il valore del GWP varia in base all'orizzonte temporale scelto: tipicamente vengono calcolati i valori del potenziale di riscaldamento globale su una base di 20 anni, 100 anni e 500 anni.

La normativa richiede di utilizzare in particolare i più recenti valori di GWP₁₀₀ (su un arco temporale di 100 anni) emessi dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Nel grafico in figura 24 sono riportati i valori di GWP con prospettiva di 100 anni di alcuni agenti climalteranti.

Global warming potential of greenhouse gases over 100-year timescale (GWP₁₀₀)

Our World
in Data

Global warming potential factors of greenhouse gases as measured over a 100-year timescale (GWP₁₀₀). GWP measures the relative warming impact of one unit mass of a greenhouse gas relative to carbon dioxide. A GWP₁₀₀ value of 28 therefore means one tonne of methane has 28 times the warming impact of one tonne of carbon dioxide over a 100-year timescale.

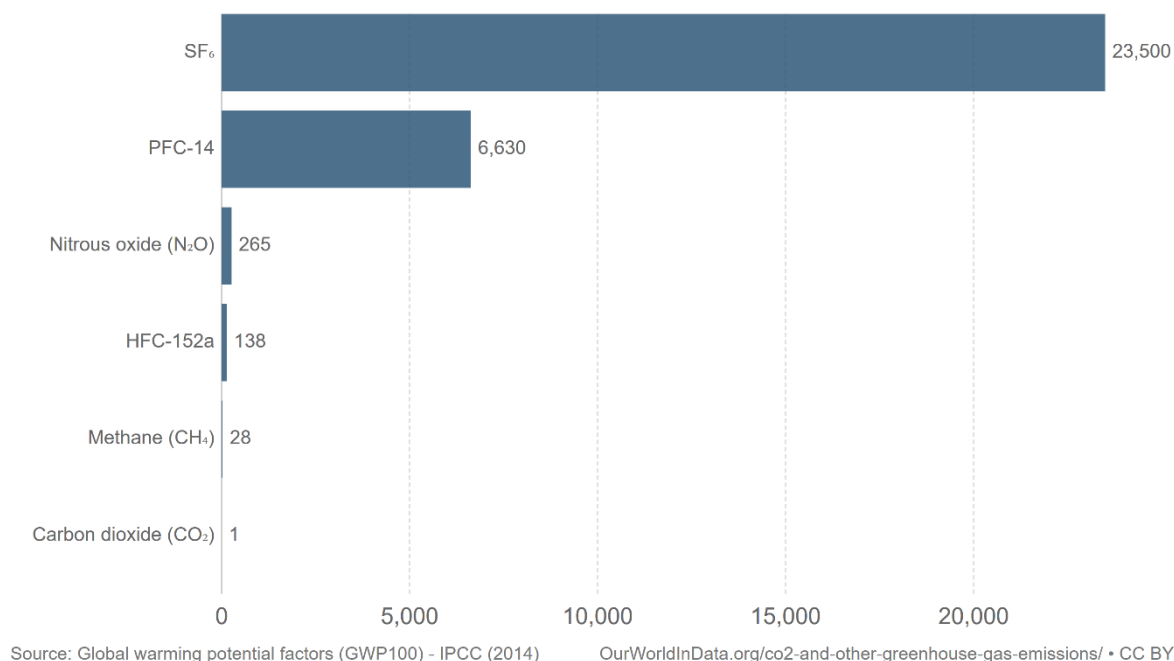


Figura 24. GWP₁₀₀ di alcuni gas serra secondo i valori forniti dall'IPCC (Our World In Data)

Periodo temporale e quantificazione di emissioni e rimozioni

La rendicontazione delle emissioni viene effettuata in relazione ad un periodo temporale ben definito e documentato dall'organizzazione: la scelta di tale periodo deve essere effettuata

secondo i principi della ISO 14061-1 e deve quindi garantire che il periodo scelto sia rappresentativo delle attività dell'azienda e significativo secondo i fini dell'inventario.

In relazione a tale periodo l'organizzazione deve individuare e documentare i dati necessari alla quantificazione delle emissioni e delle rimozioni per ciascuna delle sorgenti, assorbitori e serbatoi in precedenza individuati.

Tali dati devono quindi essere trasformati nel quantitativo di emissioni o rimozioni corrispondente attraverso una metodologia di quantificazione specifica per ogni sorgente/assorbitore e definita dall'organizzazione: tale procedimento si risolve spesso nella ricerca e documentazione di fattori emissivi che garantiscano una valutazione significativa e sufficientemente precisa delle emissioni e delle rimozioni.

La metodologia utilizzata deve essere documentata dall'organizzazione e se ne deve giustificare la scelta, evidenziandone i limiti di applicazione, le incertezze e la coerenza con i fini proposti.

Report dell'inventario

Nel caso in cui, coerentemente con gli obiettivi posti in precedenza, l'organizzazione volesse rendere pubblici o comunicare a specifici destinatari i risultati ottenuti, essa è chiamata a preparare un resoconto del proprio inventario, il GHG report: in esso vanno riportate tutta la documentazione e le procedure attuate nell'ambito della ISO 14064-1.

In particolare, la normativa propone un elenco di informazioni che è necessario riportare in tale documento al fine di soddisfare il principio di trasparenza.

Tra di esse figurano, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- le motivazioni e gli obiettivi perseguiti dall'organizzazione nell'applicazione della normativa e la politica dell'organizzazione che vi soggiace;
- i destinatari ultimi e le finalità con cui si è deciso di redigere l'inventario dei GHG
- una descrizione dell'organizzazione
- il tipo di gestione dell'inventario che si è deciso di adottare e le prospettive di sviluppo dello stesso
- i confini dell'inventario individuati e il periodo temporale interessato
- i risultati ottenuti

Altri contenuti

Oltre agli aspetti illustrati nei paragrafi precedenti, la normativa contiene sezioni dedicate alle attività di mitigazione e alla gestione della qualità dell'inventario, nonché un nutrito gruppo di appendici dedicate a dettagliare e diversificare le procedure introdotte in precedenza: per quanto parte delle informazioni contenute in queste parti del documento siano state consultate nell'analisi del caso studio, si è deciso di non approfondire ulteriormente il discorso in questa sede ritenendo superfluo il soffermarsi su alcuni concetti marginali rispetto al lavoro svolto.

3.2.3 ISO 14067

Come già riportato in precedenza, la normativa ISO 14067 si propone di definire i principi e le linee guida per la quantificazione e per la comunicazione dell'impronta di carbonio di un prodotto (Carbon Footprint of a Product, CFP). In particolare, il documento vuole essere coerente con gli standard internazionali relativi all'analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle

Assessment) di un prodotto e fa dunque espliciti riferimenti alle normative ISO 14040 ISO 14044, limitando però il proprio campo d'azione ad una sola categoria di impatto, ovvero il cambiamento climatico.

Normative ausiliarie

La ISO 14067 poggia dunque le proprie basi su una serie di normative al di fuori della famiglia delle ISO 14060 (specifiche per i GHG); nell'immagine seguente si schematizzano le relazioni che intercorrono tra la ISO 14067 e gli standard cui fa riferimento.

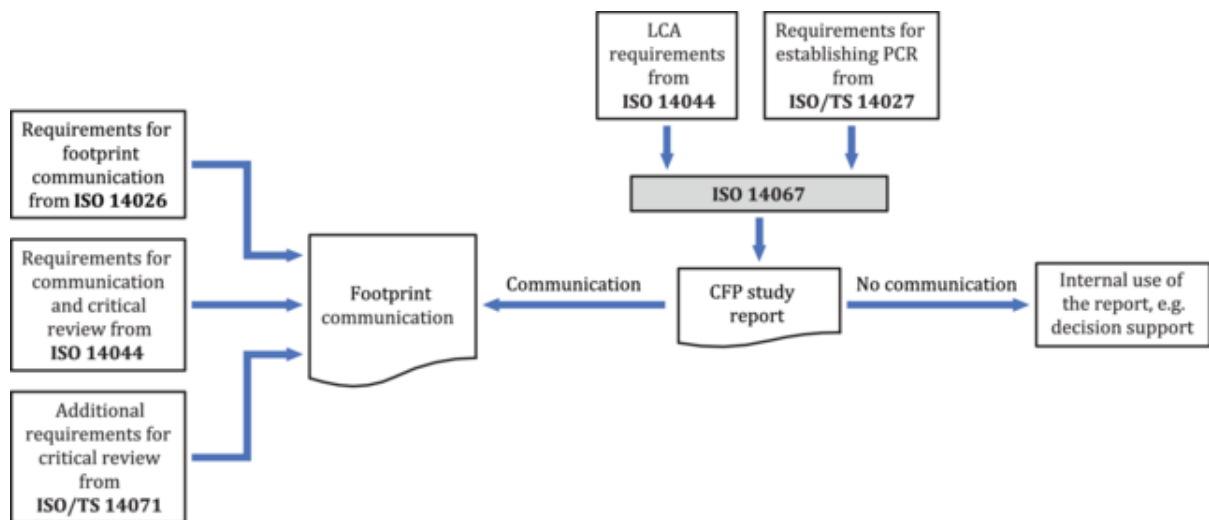


Figura 25. ISO 14064 e normative ausiliarie (dall'introduzione al testo della normativa ISO 14067, 2018)

Come si può osservare, gli standard di riferimento per la comunicazione dell'impronta di carbonio sono le ISO 14062, 14044 e 14071, mentre quelli per la quantificazione vera e propria della stessa sono nuovamente l'ISO 14044 e l'ISO/TS 14027. Quest'ultima è in particolare la normativa utile alla definizione delle PCR, le Product Category Rules.

Con il termine Product Category Rules (Regole di Categoria di Prodotto) ci si riferisce a documenti contenenti regole e linee guida per lo sviluppo di EPDs (Environmental Product Declarations) relative ad una o più categorie di prodotto, ovvero relative a gruppo di prodotti che abbiano una funzione equivalente. Esistono specifiche PCR destinate alla comunicazione della CFP denominate CFP-PCR.

CFP e Partial CFP

Vengono qui preliminarmente introdotti due concetti fondamentali ai fini della comprensione della normativa: i concetti di CFP e CFP Parziale (o Partial CFP).

Entrambi muovono a partire dalla seguente definizione, tradotta dal testo della normativa:

Carbon Footprint of a Product (CFP): somma delle emissioni e delle rimozioni di GHG in un sistema di prodotto, espresse in CO₂ equivalente e basata su una valutazione del ciclo di vita con riferimento alla sola categoria di impatto ambientale del cambiamento climatico.

Per comprendere al meglio tale concetto è necessario introdurre alcune terminologie ausiliarie utilizzate all'interno della normativa:

- **Prodotto:** un bene o un servizio.

- **Processo:** una serie di attività concatenate tra loro che trasforma flussi in ingresso in flussi in uscita.
- **Sistema di prodotto:** è l'insieme dei singoli processi, caratterizzati da flussi di energia e di materiali in ingresso e in uscita, destinato ad assolvere una o più funzioni definite e che caratterizza il ciclo di vita di un prodotto.
- **Ciclo di vita:** l'insieme delle fasi consecutive e interconnesse della realizzazione di un prodotto, dall'approvvigionamento delle materie prime e delle risorse naturali fino ai trattamenti del fine vita (riciclo, smaltimento, riutilizzo).

La CFP descrive dunque l'impatto emissivo che un determinato bene o servizio (prodotto) ha lungo tutto il suo ciclo vitale.

La normativa suddivide però tale concetto nelle declinazioni di CFP e di Partial CFP che si differenziano tra loro in quanto il primo ruota attorno al concetto di *unità funzionale* mentre il secondo attorno a quello di *unità dichiarata*.

- **Unità funzionale:** Prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento.
- **Unità dichiarata:** quantità di un prodotto relativa ad un numero limitato di fasi del ciclo di vita del prodotto.

Mentre l'unità funzionale rappresenta lo scopo del sistema prodotto per come introdotto nella normativa, l'unità dichiarata ne rappresenta un solo aspetto: quest'ultima viene tipicamente utilizzata in contesti in cui l'unità funzionale non sia definibile a causa di mancanti informazioni relative all'intero ciclo di vita.

In ogni caso, sia l'unità funzionale che l'unità dichiarata devono essere scelte in modo da essere chiaramente definite e misurabili, rappresentando un riferimento a cui tutti i flussi di input e di output possano essere correlati.

La scelta tra l'una o l'altra unità di riferimento deve essere dichiarata all'inizio dello studio di CFP e deve essere coerente con gli obiettivi dell'analisi: se si utilizza una PCR per la costruzione dell'inventario allora bisogna adottare l'unità di riferimento proposta da tale documento.

Per semplicità, nel proseguire della trattazione, si farà semplicemente riferimento allo studio di CFP, includendo in questi termini anche l'eventuale studio di Partial CFP, specificando eventuali riferimenti puntuali ove necessario.

[I principi della ISO 14067](#)

Come già osservato per la ISO 14064-1, anche questa normativa costruisce la propria trattazione su alcuni principi ben definiti che dovranno essere sempre presi come riferimento nella stesura dello studio di CFP:

- **Prospettiva del ciclo di vita:** la quantificazione della CFP deve contemplare la totalità del ciclo di vita del prodotto cui si riferisce, a partire dall'acquisizione del materiale e terminando con la fase di fine vita.
- **Approccio relativo:** si definisce un'unità di riferimento (funzionale o dichiarata) a cui si devono correlare tutti i passaggi dello studio.

- **Approccio iterativo:** la stesura delle quattro fasi dell'LCA (si veda il paragrafo seguente) prevede una continua rivalutazione delle fasi precedenti al fine di garantire coerenza nell'evolversi dello studio.
- **Compatibilità:** Se presenti, è necessario applicare standard, documentazione e linee guida già diffusi a livello internazionale in modo da facilitare il confronto con le impronte emissive valutate per altri prodotti.
- **Evitare i doppi conteggi:** emissioni e rimozioni di GHG, se relative a più di un processo, devono essere comunque rendicontate una sola volta.

A questi cinque principi se ne vanno ad aggiungere altri molto simili a quelli già visti per normativa precedente ma declinati nell'ambito dello studio della CFP:

- **Rilevanza:** Devono essere utilizzati metodi e raccolti dati con una qualità appropriata rispetto alla valutazione di emissioni e rimozioni del sistema analizzato.
- **Completezza:** Tutti i contributi significativi alla valutazione della CFP devono essere inclusi nella trattazione.
- **Coerenza:** Le metodologie e le ipotesi effettuate devono permanere lungo tutte le fasi dello studio e devono rispecchiare gli obiettivi e i campi di applicazione previsti.
- **Accuratezza:** Per quanto possibile bisogna ridurre le incertezze e gli errori relativi ai dati utilizzati, rendendo lo studio di CFP preciso, accurato e significativo.
- **Trasparenza:** tutto il procedimento, le metodologie e le assunzioni fatte devono essere rese disponibili all'interno di un documento chiaro e comprensibile.

La struttura della LCA applicata alla CFP

Secondo la normativa, uno studio di CFP deve essere costruito seguendo le procedure già formalizzate e standardizzate per la LCA, ovvero la valutazione del ciclo di vita; se ne riporta di seguito la definizione data dalla normativa:

Life Cycle Assessment (valutazione del ciclo di vita): Compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita degli elementi in ingresso e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto.

La differenza sostanziale tra uno studio di CFP e una LCA risiede nel fatto che il primo dei due si limita indagare la categoria di impatto ambientale relativa al riscaldamento globale mentre la seconda deve necessariamente comprendere tutte le categorie di impatto ambientale rilevanti per il ciclo di vita del prodotto analizzato.

Dovendo seguire la struttura della LCA, uno studio di CFP deve dunque rispondere ad un processo iterativo contenente al proprio interno le quattro fasi della LCA:

- Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione
- Analisi dell'inventario
- Valutazione dell'impatto
- Interpretazione

In figura 26 sono schematizzate le quattro fasi dell'LCA e il processo iterativo che le contiene.

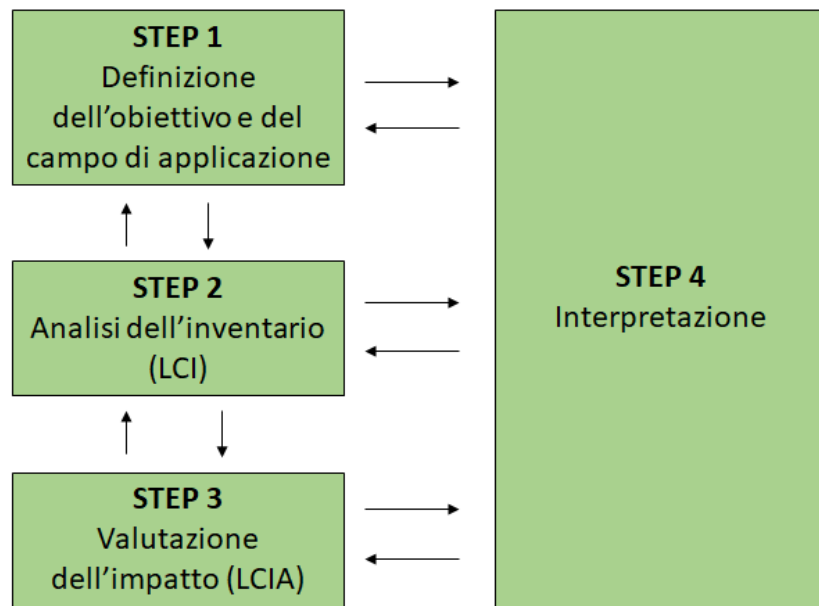


Figura 26. Fasi dell'LCA

Definizione degli obiettivi e dei campi di applicazione

La fase di definizione di obiettivi e del campo di applicazione risulta preliminare rispetto alla quantificazione dell'impronta ecologica ma è fondamentale in quanto va a declinare tutte le scelte che verranno effettuate nel seguito dell'analisi.

A dispetto del fatto che l'obiettivo globale del condurre una CFP possa risultare ovvio, ovvero quello di valutare l'impatto emissivo di un determinato prodotto, viene richiesto in questa fase di specificare quale sia l'obiettivo per cui si è deciso di applicare tale procedura: quali siano le ragioni che abbiano portato a tale risoluzione, quale sia il tipo di utenza destinato ad accedervi e se ci sia o meno l'intento di divulgare al pubblico i risultati dello studio (nel rispetto della normativa di riferimento, ISO 14026).

Una volta definito tale obiettivo si richiede quindi di identificare nel modo più preciso possibile il campo di applicazione della CFP, coerente con gli obiettivi indicati, in modo da garantire durante l'analisi adeguati livelli di dettaglio e di approfondimento e raccogliere dati e compiere assunzioni compatibili con le finalità proposte.

È dunque in questa fase che si vanno ad illustrare le caratteristiche del sistema studiato e a definire i confini di sistema, i criteri di cut-off, il tipo e la qualità dei dati richiesta, nonché il periodo temporale a cui si fa riferimento e a descrivere, se incluse nei confini definiti, le fasi di utilizzo del prodotto e della fine vita dello stesso.

Analisi dell'inventario del ciclo di vita per la CFP

L'analisi dell'inventario del ciclo di vita, spesso indicata con l'acronimo LCI (Life Cycle Inventory), è la fase dell'LCA che prevede la costruzione di un inventario di tutti i flussi di energia e di materia che intervengono nel ciclo di vita di un prodotto e delle emissioni e rimozioni di GHG ad essi dovuti.

Per far ciò è necessario raccogliere e verificare i dati, associare ciascun dato ad un determinato processo e quindi ad un'unità di riferimento (che sia essa funzionale o dichiarata), perfezionare i confini del sistema analizzato precedentemente definiti e procedere con il processo di allocazione.

Quella dell'allocazione è una procedura particolarmente delicata in quanto prevede l'associazione di flussi, relativi ad un processo, a specifici prodotti, anche qualora vi siano dei processi comuni a differenti sistemi di prodotto.

La normativa dedica notevole spazio alla trattazione di questa specifica fase dello studio di CFP, dettagliando al meglio gli aspetti relativi all'allocazione dei flussi e al trattamento di specifiche emissioni o rimozioni di GHG, come quelle derivanti dai combustibili fossili e dal carbone biogenico, quelle dovute al consumo di energia elettrica, sia essa importata dalla rete o autoprodotta, e quelle relative all'utilizzo dei terreni. Si rimanda quindi alla consultazione della normativa per ulteriori approfondimenti.

Valutazione dell'impatto per la CFP

Indicata spesso come LCIA (Life Cycle Inventory Assessment) questa fase, in relazione alla CFP si traduce nella valutazione dell'impatto del ciclo di vita di un prodotto sul cambiamento climatico.

Avendo già quantificato le emissioni di gas serra nella fase precedente, è qui sufficiente moltiplicare i valori ottenuti per i corrispettivi Potenziali di Riscaldamento Globale su un orizzonte temporale di 100 anni, il già introdotto GWP100, ottenendo così un valore delle emissioni registrate espresso in massa di CO₂ equivalente.

Interpretazione della CFP e processo iterativo

Come evidenziato nello schema contenente le quattro fasi della LCA, la fase dell'interpretazione non è propriamente l'ultima nella successione delle stesse: essa si estende lungo tutto il procedimento di valutazione del ciclo di vita e consiste nella verifica di compatibilità tra le procedure applicate e le scelte effettuate con i principi della ISO 14067. Ogni volta che questa compatibilità viene a mancare, l'interpretazione dei risultati comporta una correzione delle fasi precedenti e alla ripresa della valutazione. Per questo motivo si parla di processo iterativo (come anche enunciato tra i principi).

Quando in questa fase non si evidenziano distacchi tra i principi e la procedura seguita, si termina infine la valutazione del ciclo di vita, riportando un'analisi conclusiva dei risultati e valutando le limitazioni del lavoro svolto, accompagnandole a raccomandazioni sulle applicazioni future dei risultati ottenuti.

Altri contenuti

La normativa conclude la trattazione con un capitolo dedicato alla composizione del CFP study report.

Seguono cinque appendici che approfondiscono specifici argomenti quali le limitazioni della CFP, i metodi comparativi tra diversi prodotti basati sulla CFP, lo sviluppo di un approccio sistematico alla CFP da parte di un'organizzazione, le procedure da attuare per valutare l'eventuale riciclo in una CFP e una guida alla quantificazione di emissioni e rimozioni di GHG nell'agricoltura e nella silvicoltura.

3.3 Utilizzo delle normative nel caso studio

Le normative introdotte nei paragrafi precedenti troveranno a vario titolo utilizzo nel caso studio illustrato nel proseguo della trattazione.

La normativa UNI EN ISO 50001 verrà in particolare solo menzionata e non applicata appieno nel suo procedimento: il contributo alla trattazione dato dalla normativa relativa alla gestione dell'energia risiede infatti nei dati ricavati dal sistema di gestione dell'energia precedentemente implementato da Trigenia srl e dal quale è stato possibile ricavare preziose informazioni necessarie alla strutturazione delle due normative ambientali. Si leggerà infatti spesso di dati ottenuti dall'analisi energetica fatta da Trigenia srl nella fase di PLAN dell'implementazione del SGE.

Più approfondite saranno invece le applicazioni delle ISO 14064-1 e ISO 14067: della prima si riuscirà in particolar modo a garantire una certa fedeltà alle linee guida della normativa e ai requisiti richiesti mentre nell'applicare la seconda si dovrà scendere a compromessi e realizzandone una versione impropria a causa di fattori che verranno approfonditi e spiegati al momento debito.

4 CASO STUDIO: Un'azienda vinicola

I primi beni commerciali analizzati nell'ambito del lavoro di tesi sono stati i prodotti di un'azienda vinicola sita nelle Langhe.

Lo studio si è sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- studio qualitativo dei processi produttivi presenti nello stabilimento;
- costruzione dell'inventario delle emissioni di gas serra (GHG) secondo i principi della normativa UNI EN ISO 14064;
- calcolo dell'impronta emissiva di CO_{2,eq} (CF: Carbon Footprint) della gamma dei prodotti dell'azienda con approccio gate-to-gate;

Sono state infine valutati possibili interventi e modifiche del processo produttivo al fine di ottenere significativi risparmi in termini di emissioni di CO_{2,eq}.

4.1 L'azienda e il processo produttivo

4.1.1 L'azienda

L'azienda analizzata è una cantina vinicola che ha sede tra le colline delle Langhe, in provincia di Cuneo, territorio da cui giunge la maggior parte delle uve utilizzate nei processi di produzione: l'azienda non dispone di vigneti e terreni di coltivazione ma compra la materia prima per la produzione del vino da numerose aziende viticole situate sul territorio.

Tra i prodotti dell'azienda si annoverano le principali varietà dei rinomati vini del territorio: differenti tipi di Barolo, Barbaresco, Barbera d'Alba, Dolcetto d'Alba, Moscato d'Asti, Langhe Chardonnay e Gavi.

La volontà di migliorare le tecnologie a disposizione per la produzione di prodotti sempre di qualità, nel rispetto dell'ambiente e nella prospettiva dell'efficientamento e del risparmio energetico, ha portata l'organizzazione a contattare Trigenia srl con cui ormai collabora da anni.

4.1.2 L'impianto di produzione

Lo stabilimento consta di tre reparti produttivi identificati con i nomi di "vinificazione", "spumanti" e "imbottigliamento".

È possibile suddividere la produzione dell'azienda secondo tre tipologie differenti: vini rossi, vini bianchi e spumanti; tutti i prodotti sono venduti in bottiglie da differenti volumi e formati ma tutte in vetro.

Nel seguito verranno brevemente illustrati i processi di vinificazione (di vini rossi e bianchi) e di produzione di spumante: la prospettiva con cui viene portata avanti tale trattazione non è quella di dettagliare la trasformazione del prodotto bensì quella di evidenziare i principali componenti dell'impianto in funzione dell'analisi energetica ed emissiva riportata nei capitoli successivi. Per questo motivo i processi di vinificazione in rosso e in bianco verranno descritti unitariamente e ci si limiterà ad illustrare le principali fasi dei processi presenti nello stabilimento e i processi ausiliari alla produzione, escludendo le prime fasi di vita delle uve come la coltivazione e la vendemmia.

Il processo di vinificazione

Non esiste un unico processo di vinificazione: esso varia in funzione della materia prima (grado di maturazione, provenienza e tipologia delle uve utilizzate) e della tipologia di vino che si vuole ottenere, non solo differenziandosi tra vino bianco e vino rosso ma anche a seconda

della varietà di vino, sia rosso che bianco, che si vuole ottenere. A parità di prodotto, inoltre, ci possono essere differenze nel processo dovute a scelte tecniche e tecnologiche del singolo produttore.

È possibile però individuare alcune fasi ricorrenti in tutti i processi di vinificazione, compreso quelli dell'azienda sottoposta ad analisi:

- **Diraspatura e pigiatura:** Nella diraspatura gli acini di uva vengono separati dai raspi, per poi essere sottoposti a pigiatura, ovvero una delicata operazione meccanica di spremitura con cui si provoca la rottura della buccia dell'acino di uva per estrarre il succo contenuto al suo interno. Alla fine di queste operazioni si ottiene un liquido, il mosto estratto dagli acini, al cui interno sono contenute in sospensione le parti solide dell'acino d'uva (vinacce). I raspi vengono invece separati e estratti dal processo già durante la fase di diraspatura.

Nell'impianto analizzato queste due operazioni vengono eseguite secondo due modalità differenti: in un caso sono effettuate da uno stesso macchinario, chiamato diraspapigiatrice, mentre nell'altro vi sono due macchinari che in successione si occupano di diraspare (diraspatrice) i grappoli d'uva e di pigiare (gruppo pigiante) gli acini.

- **Pressatura e sgrondatura:** la pressatura è un'operazione ben distinta dalla pigiatura in quanto viene effettuata con l'obiettivo di spremere le rimanenze del mosto ancora attaccate alle bucce degli acini per poi separare i residui solidi dal liquido (fase di sgrondatura) e portare quest'ultimo alle fasi successive del processo. A seconda del tipo di vinificazione che si sta portando avanti, la fase di pressatura avviene in momenti differenti: nella vinificazione in bianco essa segue la fase di pigiatura mentre nella vinificazione in rosso essa viene effettuata dopo la fermentazione con macerazione.

Alcune presse ed un separatore mosto-vinaccia sono i macchinari preposti all'assolvimento di queste operazioni nell'impianto esaminato.

- **Fermentazione alcolica:** questa è la vera e propria fase di vinificazione, durante la quale gli zuccheri contenuti nel mosto si trasformano in alcool per via dell'azione dei saccaromiceti (lieviti), ottenendo così il vino. Per la vinificazione in rosso questa fase è anche chiamata "fermentazione con macerazione" in quanto il mosto subisce il processo di fermentazione a contatto con le vinacce, responsabili del rilascio dei pigmenti che andranno a caratterizzare il vino. Per questo motivo la fermentazione per il vino rosso avviene tra la fase di pigiatura e prima della pressatura e sgrondatura, mentre per il vino bianco avviene a seguito della sgrondatura.

I macchinari utilizzati per svolgere queste operazioni nell'impianto studiato sono dei fermentatori verticali e dei fermentatori orizzontali.

- **Affinamento del vino:** Questa fase comprende una serie di operazioni volte a perfezionare le qualità del vino ottenuto dalla fermentazione come svinamento, travasi e filtrazioni e la maturazione del vino per un periodo più o meno lungo all'interno di appositi recipienti (silos e botti) a seconda della tipologia del vino prodotto.
- **Imbottigliamento:** è la fase di confezionamento del vino che, terminato il periodo di affinamento, viene nuovamente travasato e filtrato per poi essere, appunto,

imbottigliato. Prima di immettere sul mercato le bottiglie così prodotte è necessario aspettare un periodo compreso tra uno e tre mesi in modo da dare al vino la possibilità di stabilizzarsi.

Questo procedimento, nell'azienda a cui fa riferimento la presente trattazione, avviene nel reparto "imbottigliamento" dove sono presenti macchinari per la pulizia e il lavaggio delle bottiglie, per il riempimento, la tappatura e l'etichettatura delle stesse, per la costruzione dei cartoni e l'imballaggio e per la movimentazione e il riempimento dei pallet (bancali) con le bottiglie di vino.

Nella figura successiva sono schematizzati i processi di vinificazione in rosso e in bianco secondo le fasi illustrate.

VINIFICAZIONE IN ROSSO



VINIFICAZIONE IN BIANCO



Figura 27. Processi di vinificazione in rosso e di vinificazione in bianco.

Processo di produzione dello spumante

Il procedimento utilizzato per la produzione dello spumante analizzato nel caso studio prende il nome di *metodo Martinotti*, anche detto *metodo Charmat* o *metodo Martinotti-Charmat* e viene effettuato nel reparto produttivo denominato “Spumanti”.

Le fasi caratterizzanti di tale processo sono di seguito illustrate.

- **Assemblaggio vini base:** la produzione dello spumante viene effettuata partendo da una base composta da un insieme di vini bianchi (detta *cuvée*) prodotti secondo il metodo di vinificazione in bianco illustrato nel paragrafo precedente ma prelevati direttamente dopo la fase di fermentazione alcolica.
- **Fermentazione alcolica in autoclave:** la *cuvée* di vini bianchi viene sottoposta ad un nuovo processo di fermentazione all'interno di autoclavi, grandi recipienti metallici a chiusura ermetica, che impediscono all'anidride carbonica generata dal processo di rifermentazione di fuoriuscire all'esterno. Questa nuova fase di fermentazione alcolica ha una durata di circa 20 giorni.

Nel reparto spumanti sono presenti diversi esemplari di autoclave, alcuni utilizzati in questa fase, altri nella fase di refrigerazione, illustrata successivamente.

- **Filtrazione e centrifugazione isobariche:** Terminata la rifermentazione, il vino viene filtrato e centrifugato in condizioni di pressione costante, in modo da evitare la dispersione dell'anidride carbonica generata.

Il mantenimento delle condizioni isobariche in questa e in altre fasi successive richiede l'utilizzo di un imponente compressore da 90 kW installato all'interno del reparto.

- **Refrigerazione in autoclave:** Il vino viene nuovamente immesso in autoclavi, sempre al fine di mantenere condizioni di pressione costanti, e viene portato a basse temperature.
- **Imbottigliamento:** Terminata la refrigerazione, il vino viene nuovamente sottoposto a filtrazione e centrifugazione isobariche per poi venire imbottigliato e confezionato sempre in condizioni controllate di pressione e temperatura.

In figura 28 sono riportate le differenti fasi della produzione di spumante secondo il metodo Martinotti.

Ausiliari di processo

Ai processi illustrati se ne aggiungono altri non direttamente riconducibili a singole fasi del processo di produzione ma essenziali per la buona riuscita dello stesso: essi prendono il nome di *ausiliari di processo*.

METODO MARTINOTTI

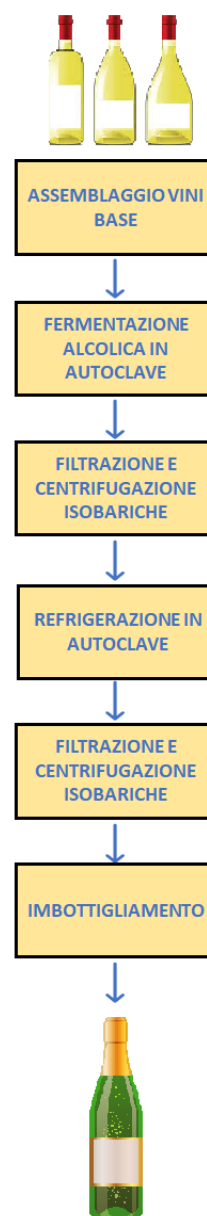


Figura 28. Fasi di produzione secondo il metodo Martinotti.

Il controllo della temperatura è ad esempio un fattore essenziale in molteplici delle fasi di processo illustrate in precedenza ed esso passa attraverso i seguenti processi:

- **Produzione del freddo:** per evitare che inizino spontaneamente processi di fermentazione alcolica già durante le fasi di diraspatura e pigiatura è necessario mantenere le uve a basse temperature e la soluzione adottata prevede l'utilizzo di un impianto di raffreddamento del pigiato con CO₂ liquida. Per la generazione del freddo utile alle altre fasi di processo (come ad esempio la refrigerazione in autoclave) si ricorre all'utilizzo di un gruppo frigo ad ammoniaca con compressori a vite.
- **Generazione di calore:** Nello stabilimento sono presenti due generatori di vapore per la generazione del calore necessario al processo e anche per il riscaldamento del sito produttivo.

Agli ausiliari già introdotti si affiancano i seguenti:

- **Climatizzazione d'ambiente:** Oltre al calore necessario al riscaldamento del sito produttivo prodotto attraverso i generatori di calore è presente una caldaia per il riscaldamento dei locali ove sono presenti gli uffici.
- **Produzione aria compressa:** Come già accennato in precedenza è presente un compressore da 90 kW che si occupa di produrre l'aria compressa necessaria al processo di produzione e del mantenimento delle condizioni isobariche per il processo di produzione dello spumante.
- **Illuminazione:** Per illuminare i locali dei siti produttivi e degli uffici sono presenti nei differenti locali numerose lampade, perlopiù lampade alogene e lampade al neon.

Conoscere l'azienda e l'impianto

La conoscenza dell'impianto e dei suoi processi risulta fondamentale ai fini del lavoro di certificazione portato avanti durante la tesi: senza un'analisi preliminare del processo produttivo è infatti molto facile commettere errori e incappare in dimenticanze o sbagliate interpretazioni dei dati raccolti.

Le informazioni contenute in questa sezione risulteranno quindi essenziali nel proseguo della trattazione.

4.2 Inventario dei GHG

4.2.1 Confini organizzativi e periodo temporale

Nella composizione dell'inventario dei GHG si è deciso di utilizzare l'approccio del *controllo operativo*: sono state contabilizzate solamente le emissioni e/o rimozioni relative a installazioni sulle quali l'azienda esercita il controllo finanziario od operativo.

Sono quindi rientrate nell'analisi tutte le fasi di produzione del vino a partire dalla lavorazione della materia prima fino al confezionamento e i servizi ausiliari facenti capo direttamente all'azienda.

Questa scelta richiede alcune considerazioni relative al cosiddetto *ciclo del carbonio a breve termine*: secondo il documento "Principi generali del protocollo OIV sul calcolo dei gas serra

per il settore vitivinicolo”, assimilabile ad una PCR relativa al settore vitivinicolo, tutte le emissioni dovute alla combustione e degradazione di biomasse con ciclo breve, ovvero annuale e stagionale, non sono da contabilizzare in quanto bilanciate dalla CO₂ assorbita dalle biomasse stesse per la propria formazione; escludendo dai confini organizzativi le fasi di coltivazione della materia prima, per le motivazioni riportate, non sarà però possibile escludere dalle sorgenti emmissive la fermentazione della materia prima il cui contributo, che, come si vedrà, risulta significativo ai fini della costruzione dell’inventario dei GHG, in quanto l’assorbimento della CO₂ dovuto alla fase di coltivazione non è rendicontabile all’organizzazione.

Avendo iniziato il lavoro durante il 2019, l’analisi è stata effettuata in relazione al periodo compreso tra gennaio e dicembre 2018. La collaborazione con Trigenia s.r.l. ha permesso di reperire molti dei dati con relativa facilità essendo già essi in possesso della stessa.

4.2.2 Inventario delle sorgenti emmissive e loro tipologia

Sulla base della suddivisione proposta dalla normativa, sono state individuate le categorie di emissioni e le sorgenti emmissive ad esse corrispondenti presenti all’interno dell’azienda, identificando i dati e i parametri da richiedere o ottenere dall’azienda ai fini del calcolo delle emissioni di CO_{2,eq}.

Fondamentale per la comprensione delle categorie è la distinzione tra emissioni dirette ed indirette: nelle *emissioni dirette* sono state inserite tutte quelle sorgenti che emettono direttamente in atmosfera gas ad effetto serra mentre nelle *emissioni indirette*, in numero maggiori, figurano le sorgenti emmissive caratterizzate da emissioni di gas serra non all’interno dei confini aziendali bensì necessarie alla produzione di beni consumati dall’azienda o necessari alla fornitura di servizi di cui l’azienda usufruisce.

Emissioni di GHG dirette

- **Generatore di vapore:** si tratta di una sorgente non biogenica (non derivata quindi da biomassa), le emissioni sono dovute alla combustione stazionaria del gas naturale e pertanto il parametro di riferimento risulta essere il volume di gas naturale consumato dall’azienda.
- **Caldaia:** anch’essa è una sorgente non biogenica in quanto le emissioni sono dovute alla combustione stazionaria del gas naturale; nuovamente il parametro di interesse è il volume di gas naturale consumato.
- **Macchine aziendali:** sorgente non biogenica, le emissioni sono dovute al consumo del carburante durante l’utilizzo delle stesse. È necessario dunque valutare la tipologia di mezzo, il tipo di carburante utilizzato e i km percorsi da ciascuna vettura durante l’anno.
- **Fermentazione alcolica:** sorgente biogenica, i gas serra vengono emessi durante il processo di fermentazione delle uve (biomassa). Risulta quindi necessario valutare la massa di CO₂ emessa durante il processo.
- **Refrigerazione con CO₂:** l’anidride carbonica liquida utilizzata per la refrigerazione del pigiato si considera direttamente immessa in atmosfera (sorgente non biogenica). È necessario valutare il consumo di anidride carbonica liquida utilizzata.

- **Sistema antincendio:** il sistema antincendio prevede l'installazione capillare all'interno dello stabilimento e degli uffici di estintori, alcuni dei quali contenenti anidride carbonica compressa allo stato liquido. Tali estintori sono però soggetti a perdite che rappresentano quindi una emissione non biogenica diretta per l'azienda. Il dato da richiedere all'azienda è dunque quello riguardante la massa di fluido antincendio acquistata per la manutenzione degli estintori.

Emissioni di GHG indirette dovute ad importazione di energia elettrica

- **Stabilimento:** si intende l'emissione non biogenica dovuta al consumo di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica poi acquistata dall'azienda ed utilizzata in tutto lo stabilimento. Il parametro necessario alla valutazione è rappresentato dall'energia elettrica acquistata dall'azienda.

Emissioni di GHG indirette dovute ai trasporti

- **Auto dei dipendenti:** emissione non biogenica generata dal consumo di carburante necessario allo spostamento dei dipendenti tra lo stabilimento e la propria abitazione. Viene valutato tra le emissioni indirette in quanto il carburante non viene acquistato direttamente dall'azienda ma dai dipendenti in modo autonomo. Per il calcolo delle emissioni si utilizza una stima dei km percorsi dai dipendenti.

Emissioni di GHG indirette associate a prodotti utilizzati

- **Additivi per vinificazione:** l'utilizzo di prodotti e additivi durante il processo di vinificazione comporta la rendicontazione delle emissioni, non biogeniche, necessarie alla loro produzione. È necessario avere dall'azienda le informazioni relative alla massa dei prodotti utilizzati.
- **Prodotti di pulizia:** analogamente a quanto visto per i prodotti di vinificazione, è necessario valutare le emissioni non biogeniche dovute alla produzione delle sostanze utilizzate per la pulizia attraverso le informazioni relative alla massa dei prodotti consumati.
- **Materiali per imbottigliamento:** emissione non biogenica dovuta alla produzione delle bottiglie utilizzate dall'azienda per l'imbottigliamento. È necessario conoscere dunque la massa del vetro sottoforma di bottiglia acquistata dall'azienda.
- **Materiali per tappatura:** emissione non biogenica dovuta alla produzione dei materiali utilizzati per la chiusura delle bottiglie. Risulta necessario richiedere la massa dei vari materiali utilizzati per questo processo variegato e articolato.
- **Materiali per packaging:** emissione non biogenica dovuta alla produzione dei materiali necessari al confezionamento e impacchettamento delle bottiglie. Come per i materiali di tappatura, è necessario conoscere le masse dei prodotti utilizzati in questa fase.

Esclusioni dall'inventario

Nella seguente tabella sono riassunte le sorgenti emissive suddivise per categoria, i processi cui appartengono e i parametri di riferimento.

Tabella 1. Inventario delle sorgenti emissive dell'organizzazione suddivise per categoria

INVENTARIO SORGENTI EMISSIVE						
CATEGORIA	TIPOLOGIA	PROCESSO/IMPIANTO	SORGENTE EMISSIONE	MODALITA' EMISSIONE	PARAMETRO	U.d.m.
EMISSIONI DIRETTE	NON BIOGENICHE	GENERAZIONE DI CALORE	GENERATORE DI VAPORE	Combustione stazionaria gas naturale	Volume gas naturale	Smc
	NON BIOGENICHE		CALDAIA	Combustione stazionaria gas naturale	Volume gas naturale	Smc
	NON BIOGENICHE	TRASPORTI	AUTO AZIENDALI	Consumo di carburante	km percorsi	km
	BIOGENICHE ANTROPOGENICHE	VINIFICAZIONE	FERMENTAZIONE ALCOLICA	Produzione CO2 da fermentazione alcolica	Massa di CO2	ton
	NON BIOGENICHE	VINIFICAZIONE	REFRIGERAZIONE	Raffreddamento con CO2 liquida dell'uva	Massa di CO2	ton
	NON BIOGENICHE	SISTEMA ANTINCENDIO	IMPIANTO ANTINCENDIO	Perdita fluido antincendio	Massa fluido disperso	kg
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AD IMPORTAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	NON BIOGENICHE	APPROVVIGIONAMENTO ENERGIA ELETTRICA	STABILIMENTO	Consumo di energia elettrica	Energia Elettrica acquistata dalla rete	kWh
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AI TRASPORTI	NON BIOGENICHE	TRASPORTI	AUTO DIPENDENTI	Consumo di carburante	km percorsi	km
EMISSIONI INDIRETTE ASSOCIATE A PRODOTTI UTILIZZATI	NON BIOGENICHE	VINIFICAZIONE	ADDITIVI PER VINIFICAZIONE	Consumo di prodotti per vinificazione	Massa di prodotti utilizzati	ton
	NON BIOGENICHE	PULIZIA	PRODOTTI PULIZIA	Consumo di prodotti per pulizia	Massa di prodotti utilizzati	ton
	NON BIOGENICHE	MATERIALI DI CONFEZIONAMENTO	MATERIALI PER IMBOTTIGLIAMENTO	Utilizzo di bottiglie	Massa di vetro utilizzato	ton
	NON BIOGENICHE		MATERIALI PER TAPPATURA	Utilizzo di materiali per la chiusura	Massa di materiali utilizzati	ton
	NON BIOGENICHE		MATERIALI PER PACKAGING	Utilizzo di materiali per il packaging	Massa di materiali utilizzati	ton

Si noti come all'interno dell'azienda non siano presenti rimozioni di GHG né dirette né indirette.

Tra le emissioni indirette associate a prodotti utilizzati dall'azienda non sono state inserite le emissioni dovute all'utilizzo della materia prima necessaria alla produzione del vino: sono state riscontrate grandi difficoltà nel reperimento dei dati relativi a causa delle grandi varietà di materia acquistata dall'azienda e della molteplicità dei siti da cui essa proviene. Eventuali valori utilizzati sarebbero stati caratterizzati da un'incertezza grande a tal punto da minarne la consistenza.

Non sono state annoverate tra le emissioni indirette dovute ai trasporti quelle relative al trasporto dei prodotti acquistati e commercializzati dall'azienda: la scelta dell'approccio del controllo ha portato ad escludere questo tipo di emissioni.

Nell'inventario non figura inoltre la categoria "emissioni indirette dovute all'utilizzo di prodotti venduti dall'organizzazione" suggerita dalla normativa per via di considerazioni analoghe a quelle effettuate per i trasporti di materiali acquistati e venduti.

4.2.3 Calcolo delle emissioni di CO_{2,eq}

Per ogni sorgente sono stati ricercati da documenti ufficiali, normative, documentazione di categoria o in letteratura degli adeguati fattori emissivi che hanno permesso di ottenere dei parametri indicati in precedenza il valore delle emissioni annuali di ciascuna di esse.

GHG e GWP

Dei GHG presi in considerazione dalla normativa ISO 14064 (CO₂, CH₄, N₂O, NF₃, SF₆ a cui aggiungono idrofluorocarburi e perfluorocarburi ed eventuali altri GHG rilevanti) le uniche specie che si sono riscontrate nell'azienda analizzata sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e ossido di diazoto (più comunemente protossido di azoto, N₂O).

Prima di procedere con i calcoli delle emissioni per ogni sorgente è stato necessario ricercare il fattore di conversione per tali GHG in CO_{2,eq}, il GWP (Global Warming Potential), più nello specifico il GWP declinato su un orizzonte temporale di 100 anni, chiamato GWP₁₀₀, come esplicitamente richiesto dalla normativa.

Tabella 2. GWP₁₀₀ dei GHG di interesse (GHG Protocol)

GLOBAL WARMING POTENTIAL	
GHG	GWP ₁₀₀ [t _{CO2,eq} /t _{GHG}]
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

I valori riportati in tabella 2 sono ottenuti dal GHG Protocol con riferimento all' IPCC Fifth Assessment Report (AR5) del 2014.

Approvvigionamento di energia elettrica

DEFINIZIONE DEI FATTORI DI EMISSIONE

Per la certificazione viene richiesto di utilizzare i fattori di emissione non relativi al puntuale mix energetico utilizzato dal fornitore di energia elettrica dell'azienda bensì quello medio nazionale.

Nella produzione di energia elettrica l'unico GHG di interesse coinvolto è l'anidride carbonica.

Il valore richiesto è il fattore medio nazionale di emissione relativo ai consumi elettrici, ricavabile dalla tabella 3 redatta da ISPRA, nel Rapporto 303/2019 “Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei”.

**Tabella 3. Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici (g_{co2}/kWh),
ISPRA**

Anno	Produzione termoelettrica lorda (solo fossile)	Produzione termoelettrica lorda ¹	Produzione termoelettrica lorda e calore ^{1,3}	Produzione elettrica lorda ²	Produzione di calore ³	Produzione elettrica lorda e calore ^{2,3}	Consumi elettrici
1990	708,2	708,0	708,0	592,2	-	592,2	576,9
1995	681,6	680,6	680,6	561,3	-	561,3	547,2
2000	638,0	633,6	633,6	515,6	-	515,6	498,3
2005	582,6	571,4	513,1	485,0	239,0	447,4	464,7
2006	573,2	561,6	504,7	476,6	248,8	440,5	461,8
2007	557,7	546,2	493,6	469,2	248,3	434,8	453,4
2008	553,8	541,1	490,4	449,5	250,6	419,7	441,7
2009	545,8	527,5	478,7	413,5	259,2	390,6	397,6
2010	544,5	522,2	467,9	402,8	245,6	377,9	388,4
2011	546,5	520,5	459,2	394,2	226,4	366,3	377,7
2012	559,2	527,0	464,7	384,4	225,1	358,9	371,9
2013	555,2	505,8	438,0	337,8	217,3	317,2	327,1
2014	573,5	512,3	437,9	323,3	205,8	303,5	308,9
2015	542,8	487,9	424,2	331,7	218,5	312,0	314,3
2016	516,4	465,7	407,7	321,3	219,3	303,5	313,1
2017	491,0	445,5	393,2	316,4	214,6	298,9	308,1
2018*	492,9	444,0	387,0	298,2	202,8	281,7	284,8

¹ comprensiva della quota di elettricità prodotta da bioenergie

² al netto degli apporti da pompaggio

³ considerate anche le emissioni di CO₂ per la produzione di calore (calore convertito in kWh)

* stime preliminari

In particolare, relativamente all'anno 2018:

FE consumo elettrico nazionale 2018 (g _{co2} /kWh)	284,8
---	-------

CALCOLO DELLE EMISSIONI

Dall'analisi energetica dell'azienda precedentemente svolta da Trigenia s.r.l. si sono ricavati i dati relativi all'energia elettrica acquistata mensilmente dalla rete, suddivisi secondo le fasce di consumo F1, F2 e F3, espressi in kWh.

Una volta aggregati i consumi mensili è stato possibile ottenere le emissioni mensili di CO₂eq espresse in tonnellate (t) tramite la seguente formula:

$$Emissioni\ CO_{2,eq} = E_{el} * FE_{consumo\ elettrico\ nazionale\ 2018} * GWP_{100,CO_2}$$

In tabella 4 e in tabella 5 sono riportati i risultati ottenuti utilizzando tale procedimento.

Tabella 4. Fattori di emissioni per il consumo di energia elettrica da rete dell'organizzazione

FATTORI DI EMISSIONE		
FE consumo elettrico nazionale 2018	284,8	g _{co2} /kWh
GWP	1	t _{co2} /t _{co2eq}

Tabella 5. Emissioni dovute all'approvvigionamento di energia elettrica dalla rete

	2018					
	Energia elettrica acquistata (kWh)			TOTALE	Emissioni CO ₂	Emissioni CO _{2,eq}
	F1	F2	F3	kWh	t	t
gen	31226	11404	21552	64182	18,3	18,3
feb	32265	12376	18261	62902	17,9	17,9
mar	34845	13797	19475	68117	19,4	19,4
apr	28792	11948	23173	63913	18,2	18,2
mag	37847	15795	26263	79905	22,8	22,8
giu	37434	17454	29267	84155	24,0	24,0
lug	45917	21736	36350	104003	29,6	29,6
ago	34350	20507	34764	89621	25,5	25,5
set	40095	21656	32357	94108	26,8	26,8
ott	41155	16685	22697	80537	22,9	22,9
nov	30351	11653	18520	60524	17,2	17,2
dic	26666	11420	23355	61441	17,5	17,5
	TOTALE				260,1	

Generazione di calore

Le sorgenti emissive presenti nei processi di generazione di calore dell'azienda sono il generatore di vapore utilizzato nello stabilimento di produzione e la caldaia asservita al riscaldamento degli uffici. Entrambi si basano sulla combustione stazionaria di gas naturale.

FATTORI DI EMISSIONE PER LA COMBUSTIONE STAZIONARIA DI GAS NATURALE

Dalla combustione stazionaria di gas naturale vengono emessi CO₂, CH₄ e N₂O: tutti i fattori emissivi relativi a tali GHG sono stati trovati espressi come massa di GHG rapportata all'energia generata dalla combustione del metano.

Si è dunque reso necessario ricercare un valore del potere calorifico inferiore (PCI) medio per la composizione media nazionale del gas naturale.

La fonte utilizzata è nuovamente una tabella redatta da ISPRA intitolata "Tabella parametri standard nazionali" espressamente indicata per il calcolo delle emissioni di CO₂ relative all'anno 2018.

PCI	0,0353	TJ/Sm ³ *10 ³
-----	--------	-------------------------------------

Dalla medesima tabella è inoltre possibile ricavare il fattore d'emissione per la CO₂.

I FE utilizzati relativi a CH₄ e N₂O sono invece i valori medi per il 2016 (versione più recente disponibile) forniti sempre da ISPRA nel suo documento microsoft excel "Fattori di emissione per le sorgenti di combustione stazionaria in Italia" pubblicato nel 2018. I valori, riportati nella tabella successiva, sono presenti nel foglio "Combustion in industry" tra i valori relativi all'industria del Food Processing.

In tale file è anche presente il FE relativo alla CO₂ ma si è preferito utilizzare il valore più recente in precedenza citato.

Tabella 6. Fattori d'emissione per la combustione del gas naturale

FATTORI EMISSIVI GAS NATURALE			
GHG	t _{GHG} /TJ	t _{GHG} /10 ³ *Sm ³	t _{CO2,eq} /10 ³ *Sm ³
CO2	55,934	1,972	1,972
CH4	0,001	3,53E-05	0,00099
N2O	0,0003	1,06E-05	0,00280

La tabella contiene i fattori di emissione espressi secondo differenti unità di misura. La prima colonna contiene i valori come proposti dalle fonti; per il passaggio alla seconda è sufficiente moltiplicare il valore precedente per il PCI prima indicato (dopo aver verificato la coerenza delle unità di misura) ed infine si è utilizzato il GWP dei diversi GHG per ottenere tramite moltiplicazione i fattori emissivi espressi in t_{CO2,eq}/10³*Sm³.

CALCOLO DELLE EMISSIONI

Dall'analisi energetica dell'azienda precedentemente svolta da Trigenia s.r.l. si sono ricavati i dati relativi ai consumi mensili di gas naturale, espressi in Sm³, suddivisi secondo i consumi per l'impianto (a carico del generatore di vapore) e degli uffici (consumi della caldaia). Per ottenere le emissioni di ciascun GHG espresso in CO_{2,eq}, utilizzando i fattori emissivi prima individuati, si sono utilizzate le seguenti semplici formule:

$$Emissioni\ CO_{2,eq}\ da\ CO_2 = Consumo\ gas\ naturale * FE_{CO_2}/1000$$

$$Emissioni\ CO_{2,eq}\ da\ CH_4 = Consumo\ gas\ naturale * FE_{CH_4}/1000$$

$$Emissioni\ CO_{2,eq}\ da\ N_2O = Consumo\ gas\ naturale * FE_{N_2O}/1000$$

Di seguito sono riportate le emissioni per ciascuna delle due sorgenti, suddivise secondo i differenti GHG e sommate poi in un unico valore mensile e totale.

Tabella 7. Emissioni di GHG per la generazione del calore per l'impianto di produzione

	IMPIANTO				
	CONSUMI GAS NATURALE	EMISSIONI DA CO ₂	EMISSIONI DA CH ₄	EMISSIONI DA N ₂ O	EMISSIONI TOTALI
	Sm ³	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}
gen	16952	33,43	0,02	0,05	33,49
feb	16023	31,59	0,02	0,04	31,66
mar	13456	26,53	0,01	0,04	26,58
apr	8399	16,56	0,01	0,02	16,59
mag	6139	12,11	0,01	0,02	12,13
giu	3421	6,75	0,00	0,01	6,76
lug	4294	8,47	0,00	0,01	8,48
ago	3002	5,92	0,00	0,01	5,93
set	4639	9,15	0,00	0,01	9,16
ott	6507	12,83	0,01	0,02	12,86
nov	10518	20,74	0,01	0,03	20,78
dic	18917	37,30	0,02	0,05	37,37
TOTALE		221,37	0,11	0,31	221,80

Tabella 8. Emissioni di GHG per il riscaldamento degli uffici

	UFFICI				
	CONSUMI GAS NATURALE	EMISSIONI DA CO2	EMISSIONI DA CH4	EMISSIONI DA N2O	EMISSIONI TOTALI
	Sm ³	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}	t _{CO2,eq}
gen	1595	3,15	0,0016	0,0045	3,15
feb	1431	2,82	0,0014	0,0040	2,83
mar	1191	2,35	0,0012	0,0033	2,35
apr	506	1,00	0,0005	0,0014	1,00
mag	131	0,26	0,0001	0,0004	0,26
giu	177	0,35	0,0002	0,0005	0,35
lug	179	0,35	0,0002	0,0005	0,35
ago	158	0,31	0,0002	0,0004	0,31
set	177	0,35	0,0002	0,0005	0,35
ott	738	1,46	0,0007	0,0021	1,46
nov	1184	2,33	0,0012	0,0033	2,34
dic	2144	4,23	0,0021	0,0060	4,24
TOTALE		18,95	0,01	0,03	18,99

Sommando i contributi di IMPIANTO e UFFICI si ottiene infine il valore totale delle emissioni dovute alla generazione di calore da combustione stazionaria di gas naturale nell'intera azienda.

Tabella 9. Emissioni di GHG dovute alla generazione di calore

GENERAZIONE DI CALORE	
SORGENTE	EMISSIONE
-	t _{CO2,eq}
IMPIANTO	221,8
UFFICI	19,0
TOTALE	240,8

Trasporti

Le emissioni dovute ai trasporti rendicontabili all'azienda si suddividono tra quelle dovute ai veicoli aziendali (di responsabilità diretta dell'azienda) e quelle dovute ai veicoli personali dei dipendenti utilizzati per il tragitto da e verso la propria abitazione.

FATTORI DI EMISSIONE

In entrambi gli ambiti di trasporto sono presenti differenti tipi di veicoli alimentati da differenti tipi di carburante.

Si sono dunque ricercati i fattori emissivi relativi ai GHG d'interesse, suddivisi secondo il settore cui appartengono i veicoli (category) e il combustibile (fuel), sulle tabelle fornite da ISPRA in relazione alle emissioni da carburante nel 2017 (dati più recenti disponibili).

Tali fattori emissivi vengono inoltre differenziati secondo il tipo di ambito all'interno del quale i veicoli i veicoli viaggiano: ambito urbano, rurale, autostradale o totale.

Non avendo informazioni specifiche relative a tale ambito e immaginando comunque una grande varietà nei tragitti percorsi da dipendenti e nei viaggi aziendali, si è scelto di utilizzare i fattori emissivi relativi all'ambito totale.

Nella tabella seguente sono presenti, per ogni categoria e combustibile, sono presenti i fattori emissivi di ciascun GHG di interesse poi aggregati in un unico fattore di emissione pesato secondo il valore GWP₁₀₀ di ciascuno di essi.

Tabella 10. Fattori emissivi per il settore trasporti 2017, ISPRA

Category	Fuel	FE (g/km)			FE tot (g/km)
		CO2	CH4	N2O	CO2eq
Passenger Cars	Petrol	169,94	0,0236	0,002	171,24
Passenger Cars	Diesel	175,24	0,0003	0,007	176,98
Passenger Cars	Petrol Hybrid	98,33	0,0177	0,002	99,27
Passenger Cars	LPG Bifuel	180,39	0,0186	0,003	181,66
Passenger Cars	CNG Bifuel	175,66	0,0677	0,001	177,95
Light Commercial Vehicles	Petrol	281,64	0,0263	0,010	284,91
Light Commercial Vehicles	Diesel	250,43	0,0010	0,006	252,15
Heavy Duty Trucks	Petrol	499,70	0,1080	0,006	504,31
Heavy Duty Trucks	Diesel	661,31	0,0323	0,023	668,26
Buses	Diesel	731,15	0,0335	0,017	736,67
Buses	CNG	1078,44	1,1388	0,000	1110,33
Mopeds	Petrol	47,32	0,0431	0,001	48,79
Motorcycles	Petrol	95,96	0,0905	0,002	99,03

CALCOLO DELLE EMISSIONI

Trasporti aziendali

Tabella 11. Emissioni di GHG dovute ai trasporti aziendali dell'organizzazione

TRASPORTI AZIENDALI 2018					
Tipo	Alimentazione	Categoria	Combustibile	km 2018	EMISSIONI (tCO2,eq)
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	7789	1,38
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	5100	0,90
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	0	0,00
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	5410	0,96
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	36052	6,38
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	56202	9,95
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	0	0,00
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	15610	2,76
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	7175	1,27
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	48416	8,57
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	36910	6,53
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	20772	3,68
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	53563	9,48
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	38207	6,76
Autovettura	gasolio	Passenger car	Diesel	2808	0,50
Autovettura	benzina	Passenger car	Petrol	13772	2,36
				TOTALE	61,47

Dall'analisi energetica dell'azienda precedentemente effettuata da Trigenia s.r.l. è stato possibile ricavare l'elenco delle auto aziendali con relativa tipologia e alimentazione.

I dati relativi ai km percorsi dai veicoli aziendali sono stati invece ricavati dai registri dei rimborsi spesa richiesti dai dipendenti per l'acquisto del carburante, considerando un prezzo medio di 1,45 €/l per il gasolio e di 1,65 €/l per la benzina e stimando un consumo specifico di 15 km/l per il gasolio e di 10 km/l per la benzina.

In tabella 11 sono riportati i valori così ottenuti e le emissioni di CO_{2,eq} derivanti dagli stessi.

Trasporti dei dipendenti

Non disponendo di informazioni specifiche relative alle auto dei sedici dipendenti o alle distanze da loro percorse nel tragitto tra l'azienda e la loro abitazione, si è supposto un parco di veicoli composto per metà da autovetture alimentate a benzina e per metà da autovetture alimentate a gasolio, per un tragitto medio giornaliero di 20 km per ciascun dipendente.

I risultati derivati da queste ipotesi sono riportati in tabella 12:

Tabella 12. Emissioni di GHG dovute ai trasporti dei dipendenti dell'organizzazione

TRASPORTI DEI DIPENDENTI 2018					
Tipo	Alimentazione	Categoria	Combustibile	km 2018	EMISSIONI (tCO _{2,eq})
Autovetture	gasolio	Passenger car	Diesel	44800	7,93
Autovetture	benzina	Passenger car	Petrol	44800	7,67
TOTALE					15,60

Emissioni totali per trasporti

In tabella 13 sono riassunti i valori delle emissioni relative ai trasporti aziendali e ai trasporti dei dipendenti e viene riportata la somma dei due contributi.

Tabella 13. Emissioni di GHG dovute ai trasporti dell'organizzazione

TRASPORTI	
SORGENTE	EMISSIONE
-	tCO _{2,eq}
AZIENDALI	61,5
DIPENDENTI	15,6
TOTALE	77,1

Vinificazione

All'interno del processo di vinificazione sono presenti tre sorgenti di GHG le quali comportano l'emissione di CO₂.

REFRIGERAZIONE CON CO₂

Per valutare le emissioni di CO₂ da refrigerazione si è deciso di adottare un fattore di emissione pari a 1 kgCO_{2,eq}/kgCO₂, trascurando quindi eventuali contributi emissivi dovuti al confezionamento e al trasporto della CO₂ liquida: tale semplificazione è stata effettuata per la difficoltà nel reperire dati più specifici.

I dati relativi alla massa di CO₂ consumata sono ottenuti dai documenti di trasporto (ddt) relativi agli acquisti di CO₂ liquida (figura 29).

DOCUMENTO DI TRASPORTO (DPR – 472/96)				
LIQUIDI – GAS				
DOCUMENTO DI CONSEGNA				
Spettabile:		Numero DDT: DI0601763		
		Del : 11/09/2018		
		Rif. Cliente:		
		Cliente:		
Consegna in nome e per conto di :				
Cod. Uni. Fatt.		Cod. Destinatario:		
Luogo di consegna:				
Prodotto	Descrizione dei beni	UM	Quantità	
I5110RG	ALIGAL 2 Liquido - CO2 E290	Kg	5070	MC 5070 LT 4829 KG 5070

Figura 29. Esempio di documento di trasporto per la CO₂ liquida

Durante l'anno 2018 sono stati emessi tre di questi documenti e nella tabella seguente sono riportati i dati relativi a ciascun documento e il conseguente calcolo delle emissioni.

Tabella 14. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di CO₂ liquida per la refrigerazione

2018				
n° DDT	DATA	MASSA CO2 ACQUISTATA	GWP	EMISSIONI
-	-	kg	t _{CO2,eq} /t _{GHG}	t _{CO2,eq}
DI0598549	29/08/2018	5000	1	5,00
DI0600480	06/09/2018	4200	1	4,20
DI0601736	11/09/2018	5070	1	5,07
TOTALE				14,27

FERMENTAZIONE ALCOLICA

Per la valutazione del fattore di emissione dovuta alla fermentazione alcolica si è dovuto ricercare in letteratura un valore adatto: nelle varie normative e documenti di categoria (PCR: Product Category Rules) a disposizione non è infatti stato ritrovato alcun valore specifico rispetto all'anidride carbonica emessa durante il processo di fermentazione. L'assenza di tale valore dai principali documenti per la costruzione dell'inventario dei gas serra è imputabile al fatto che spesso questo contributo viene rendicontato pari a zero in quanto viene controbilanciato dalle rimozioni di CO₂ dovute proprio alla crescita dell'uva (il cosiddetto ciclo a breve termine del carbonio biogenico); si vedano le considerazioni fatte in precedenza nel paragrafo "Emissioni di GHG indirette".

Il fattore di emissione per fermentazione alcolica è stato dunque dedotto dai valori proposti nel lavoro di dottorato di ricerca in Ingegneria Agraria "*Le aziende vitivinicole: da "machines à produire" a elementi di attrazione nel paesaggio. Proposte e criteri progettuali per l'efficienza funzionale e la qualità architettonica ed ambientale delle strutture ed infrastrutture della trasformazione enologica.*" della dottoressa Valentina Corzani: in esso si afferma che una bottiglia di vino della provincia di Siena comporta mediamente un'emissione pari a 1,83 kgCO_{2,eq}. Con riferimento al paper "The application of environmental certification to the Province of Siena" di Ridolfi et al., si afferma che di tale emissione, il 9% sia dovuto ai processi di fermentazione.

Su questa base si è potuto ricavare un fattore emissivo di massima per i processi di fermentazione nella produzione vinicola.

Si è così ottenuto il seguente valore:

FE da fermentazione alcolica	0,1647	kg _{CO2,eq} /bottiglia
------------------------------	--------	---------------------------------

Tale valore è espresso rispetto alla singola bottiglia di vino prodotta, con particolare riferimento al formato di vino più diffuso da 0,75 l.

Si sono dunque utilizzati i valori di produzioni generali dell'anno 2018, senza operare un puntuale distinguo tra le differenti tipologie di prodotti e di formati: i tempi di fermentazione dei diversi tipi di vino sono infatti paragonabili tra loro mentre il formato da 0,75 l è quello maggiormente adottato per i prodotti dell'azienda.

Di seguito i valori di produzione mensili ottenuti dall'azienda e la somma relativa all'intero anno 2018.

Tabella 15. Produzione totale mensile 2018

PRODUZIONE GENERALE 2018		
BOTTIGLIE PRODOTTE		
2018	gen	276762
2018	feb	340140
2018	mar	322634
2018	apr	247711
2018	mag	247129
2018	giu	261647
2018	lug	351161
2018	ago	104212
2018	set	245933
2018	ott	353009
2018	nov	311283
2018	dic	224756
TOTALE		3286377

Moltiplicando infine il numero delle bottiglie prodotte in totale nel 2018 e il fattore di emissione trovato si sono trovate le emissioni di CO₂ dovute alla fermentazione alcolica.

Tabella 16. Emissioni di GHG dovute al processo di fermentazione alcolica

PRODUZIONE 2018	FE	Emissione
bottiglie	kg _{CO2,eq} /bott	t _{CO2,eq}
3286377	0,1647	541,27

ADDITIVI PER VINIFICAZIONE

I fattori emissivi relativi ai numerosi additivi presenti nel processo di vinificazione sono stati ottenuti dal documento "Methodological recommendations for accounting for GHG balance in the vitivinicultural sector" redatto dall'Organizzazione Internazionale del Vino e della vite (OIV) nel 2017.

In tabella 17 sono contenuti i fattori emissivi forniti dall'OIV e le fonti da cui l'OIV stesso ha a sua volta attinto per la redazione del proprio documento.

Tabella 17. Fattori emissivi degli additivi per vinificazione (OIV)

Oenological product	Emission factor (kgCO ₂ ,eq/t)	Source
Citric acid, monohydrate	3300	ADEME (2014)
Tartric acid (D, L)	3300	ADEME (2014)
Sorbic acid	807	ADEME (2014)
Egg albumin, isinglass, gelatin, whey, potassium caseinate	1508	IFV (2011)
Other acids and salts of acids	3300	ADEME (2014)
Bentonite, kaolin	1100	ADEME (2014)
Potassium bisulfite	1470	ADEME (2014)
Calcium carbonate	75	ADEME (2014)
Chips (Wood)	10	IFV (2011)
Rectified ethanol of vitivinicultural origin	1830	ADEME (2014)
Arabic gum	400	UNGDA
Microorganisms and extracts (bacteria, yeast, yeast cell)	2200	ADEME (2014)
Milk proteins, milk powder	5107	ADEME
Brine (sodium chloride)	169	ADEME (2014)
Liquid SO ₂	440	ADEME (2014)
Sugar (sucrose)	200	IFV (2011)
Tannins	2200	ADEME (2014)
Diatomaceous earth, diatomite, perlite	1010	ADEME (2014)
Ammonium sulphate	733	ADEME (2014)

Moltiplicando i fattori emissivi per le masse degli additivi utilizzati durante l'anno in esame (dati forniti direttamente dall'azienda), è stato possibile calcolare le emissioni dovute ai singoli additivi ed alla totalità degli stessi.

Tabella 18. Emissioni di GHG dovute al consumo degli additivi per la vinificazione

ADDITIVO	FE	Massa annuale	Emissione
-	kgCO ₂ ,eq/t	t/anno	tCO ₂ ,eq
Acido citrico, monoidrato	3300	4,5	14,85
Acido tartarico (D,L)	3300	0	0,00
Acido sorbico	807	0	0,00
Albumina d'uovo, colla di pesce, gelatina, siero di latte, caseinato di potassio	1508	0,1	0,15
Altri acidi e Sali di acidi	3300	0	0,00
Bentonite, caolinite	1100	0,5	0,55
Bisolfito di potassio	1470	0	0,00
Carbonato di calcio	75	0	0,00
Chips (Wood)	10	0	0,00
Etanolo di origine vitivinicola	1830	0	0,00
Gomma arabica	400	0,3	0,12
Microorganismi ed estratti (batteri, lievito, cellula di lievito)	2200	0,15	0,33
Proteine del latte, polvere di latte	5107	0	0,00
Salamoia (cloruro di sodio)	169	0	0,00
SO2 liquida	440	0,5	0,22
Zucchero (saccarosio)	200	6	1,20
Tannini	2200	0,15	0,33
Terra di diatomea, diatomite, perlite	1010	0,6	0,61
Solfato di ammonio	733	0,3	0,22
TOTALE			18,58

EMISSIONI TOTALI PER VINIFICAZIONE

Nella tabella seguente sono riassunti e sommati tra loro i valori delle emissioni relative al processo di vinificazione.

Tabella 19. Emissioni di GHG dovute al processo di vinificazione

PROCESSO DI VINIFICAZIONE	
SORGENTE	EMISSIONI (t _{CO2,eq})
REFRIGERAZIONE CON CO2	14,27
FERMENTAZIONE ALCOLICA	541,27
ADDITIVI PER VINIFICAZIONE	18,58
TOTALE	574,11

Prodotti per la pulizia dell'impianto

Analogamente a quanto visto per gli additivi per la vinificazione, è stato possibile ricavare i fattori emissivi relativi ai tipici prodotti utilizzati per la pulizia dell'impianto di vinificazione dal documento "Methodological recommendations for accounting for GHG balance in the vitivinicultural sector":

Tabella 20. Fattori emissivi dei prodotti per la pulizia dell'impianto (OIV)

Inputs for cleaning the winery	Emission factor (kg. eq.CO ₂ /t)	Source
Nitric acid (50%)	3180	ADEME (2014)
Phosphoric acid	1420	ADEME (2014)
Soda liquid (50%)	587	ADEME (2014)
Solid sodium hydroxide	458	ADEME (2014)
15% sodium hypochlorite	920	ADEME (2014)
Sodium sulfate	473	ADEME (2014)
Antifoam products	1830	ADEME (2014)

Utilizzando i valori relativi ai consumi dei prodotti di pulizia forniti dall'azienda è stato quindi possibile calcolare le emissioni di gas serra:

Tabella 21. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di prodotti per la pulizia dell'impianto.

PULIZIA DELL'IMPIANTO			
PRODOTTO UTILIZZATO	FE	Massa annuale	Emissione
-	kg _{CO2,eq} /t	t/anno	t _{CO2,eq}
Acido nitrico (50%)	3180	0	0,00
Acido fosforico	1420	0	0,00
Soda liquida (50%)	587	0,15	0,09
Idrossido di sodio solido	458	1	0,46
Ipoclorito di sodio (15%)	920	0,2	0,18
Solfato di sodio	473	0	0,00
Prodotti antischiuma	1830	0	0,00
		TOTALE	0,73

Confezionamento

Le emissioni qui valutate fanno riferimento all'impronta emissiva intrinseca dei materiali utilizzati nel processo di confezionamento.

Si è deciso di separare i materiali in tre categorie: materiali per l'imbottigliamento (bottiglie di vetro e bag-in-box), materiali per la tappatura e materiali per il packaging (etichette, scatole di cartone, film in plastica).

Per ciascuna delle tre categorie di materiali per il confezionamento sono stati utilizzati i fattori emissivi presenti nel documento redatto dall'OIV prima citato.

I dati sui consumi dei materiali sono stati invece forniti dall'azienda.

MATERIALI PER L'IMBOTTIGLIAMENTO

Di seguito sono riportati i fattori emissivi proposti dall'OIV:

Tabella 22. Fattori emissivi dei diversi materiali per l'imbottigliamento (OIV)

Inputs for bottling	Emission factor (kg.eq.CO ₂ /t)	Source
PET bottle	3400	ADEME (2014)
PET	3224	WFA GHG calculator
Bag-in Box (3L,5L,10L)	725	AVENTERRE/IFV
Glass (from recycle 70%)	810	ADEME (2014)
Glass (from recycled 54%, reuse rate 7% - average EU, Turkey, Switzerland)	791	ECLD (2014)
Antifoam products	1830	ADEME (2014)

Nel caso dell'azienda in esame il vino viene commercializzato perlopiù in bottiglie di vetro e, in misura decisamente minore, in bag-in-box.

Non avendo specifiche informazioni sul tipo di vetro utilizzato per la produzione delle bottiglie acquistate dall'azienda, si è deciso di utilizzare il fattore emissivo presente in tabella relativo alla produzione media europea, caratterizzata dal 54% di bottiglie di vetro prodotte da vetro riciclato, una percentuale molto bassa di bottiglie di vetro riutilizzate, pari al 7 %, e la rimanente parte di bottiglie prodotte totalmente a partire da materiali vergini.

I valori relativi alle masse di bag-in-box e di prodotti antischiama utilizzati sono stati forniti direttamente dall'azienda, ma essi hanno un peso relativo decisamente basso se confrontato con la massa di bottiglie utilizzate e per questo motivo in tabella figura il valore di zero tonnellate.

La massa di vetro utilizzata è stata invece calcolata a partire dai registri relativi alle diverse tipologie di bottiglia acquistata e alla massa di ciascuna tipologia.

Di seguito sono riportati i dati ottenuti e i calcoli effettuati.

Tabella 23. Tipologia, quantità e massa delle bottiglie acquistate dall'azienda nel 2018

ACQUISTI BOTTIGLIE IN VETRO 2018			
DESCRIZIONE	Quantità	Massa bottiglia	Massa totale
-	-	g	t
BORDOLESE EVA ELITE BIANCA (3C) 600 GR.	55066	600	33,0
BORDOLESE TR. CONICA UVAG(3V) ANON.600GR	862740	600	517,6
BORDOLESE TR.CON.UVAG MARCH(3VBATA)600GR	352446	600	211,5
BORGOGNOTTA C.B.A. T.S.V.GOLD (BF) 650GR	208343	650	135,4
BORGOGNOTTA NUOVA GOLD BVS TV 560 GR.	157848	560	88,4
BORDOLESE131746 MED RAD TS UVAG 500 GR	629069	500	314,5
BT. SPUM. EXTRAL/MEC 550/660 GR. PCS/ATS	618575	600	371,1
BT. SPUM. ASTI S.E. 37.5 CL 450GR BV115	1692	450	0,8
MEZZA BORDOLESE CETIE UVAG V.SPEC. 500GR	16696	500	8,3
BORD. 1,5 LT 138680 BVS UV GR. 675 DBBVS	6996	675	4,7
DOPPIA BORD. 1,5 LT BB AG GR. 665 (DB)	1200	665	0,8
DOPPIA BORDOLESE V. SPEC. CRU+SOV. 850GR	4500	850	3,8
DOPPIA BORDOL. MEZZO BIANCO (DB2)850GR	150	850	0,1
BORDOLESE LT. 3,000 T.S.V.ANTICO 1750 GR	772	1750	1,4
BALTAZHAR UVAG FORM 12 LITRI 5800 GRAMMI	8	5800	0,0
BORDOLESE STANDARD F. MORTA 410 GR. (BM)	91658	410	37,6
BORGOG. NUOVA CETIE MBCO550 GR BVBN	13190	500	6,6
BORDOLESE NOBILE 500 GRAMMI FASCETTATA	68589	500	34,3
BORGOGNOTTA ECOVA EVOLUTION 395 GR.ECOEV	3666	395	1,4
BT. SPUM. ENOVITIS 750GR CORONA VB BVEV	30830	750	23,1
BORDOLESE G FASCETTATA MBCO 550 GRAMMI	8132	550	4,5
BORDOLESE PRESTIGE BLU 500 GRAMMI CETIE	13333	500	6,7
BOTTIGLIA SPUMANTE LIA 715 GR. UVAG	26938	715	19,3
BOTTIGLIA SPUMANTE LIA 715 GR. MBCO	8136	715	5,8
BORDOLESE LEGG. UVAG (VU) STELVIN 410GR	105804	410	43,4
TOTALE	3286377		1.874,26

Emissioni dovute ai materiali di imbottigliamento:

Tabella 24. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di materiali per l'imbottigliamento.

MATERIALI PER IMBOTTIGLIAMENTO			
MATERIALE	Quantità utilizzata (t)	FE	Emissioni
-	t	kgCO ₂ ,eq/t	tCO ₂ ,eq
Bag-in Box	0	725	0,0
Bottiglia in vetro	1.874,3	791	1482,5
Prodotti antischiuma	0	1830	0,0
		TOTALE	1482,5

MATERIALI PER LA TAPPATURA

I materiali per la tappatura sono numerosi e variegati: in base alla tipologia di vino la chiusura della bottiglia può essere più o meno articolata. Sono compresi tra i materiali utilizzati i tappi veri e propri nelle differenti tipologie, le varie coperture in alluminio e un tipo di muselet (gabbietta in alluminio per i vini spumanti).

Si riportano di seguito in un'unica tabella i fattori emissivi, i calcoli effettuati e le emissioni dovute a tali materiali.

Tabella 25. Emissioni di GHG dovuti all'utilizzo di materiali per la tappatura

MATERIALI PER TAPPATURA			
MATERIALE	Quantità utilizzata (t)	FE	Emissioni
-	t	kg _{CO2,eq} /t	t _{CO2,eq}
Cappuccio aggiuntivo (alluminio 35% riciclato/LDPE, 1g) per vini frizzanti	0	7700	0,00
Cappuccio aggiuntivo (alluminio 35% riciclato, 3,2g) per vini frizzanti	0	5680	0,00
Cappuccio aggiuntivo (alluminio 70% riciclato/LDPE, 1g) per vini frizzanti	0	4030	0,00
Cappuccio aggiuntivo (alluminio 70% riciclato, 3,2g) per vini frizzanti	0	3300	0,00
Tappo di alluminio aggiuntivo	0	17100	0,00
Tappo a vite (alluminio 35% riciclato + sigillo in PE/latta, 4,8g)	0,15	10600	1,59
Tappo a vite (alluminio 75% riciclato + sigillo in PE/latta, 4,8g)	0	7300	0,00
Tappo di sughero agglomerato - 5,5 g	0,55	2200	1,21
Tappo di sughero per vino frizzante LA2R - 9,5 g	0,42	4770	2,00
Tappo di sughero naturale per vino fermo - 3,5 g	0,55	2310	1,27
Muselet - 5,6 g	0,56	3850	2,16
Tappo in sughero naturale e capsula in PVC	405,2	2490	1008,95
Tappo in sughero agglomerato e capsula in PVC	4	4253	17,01
Tappo in sughero agglomerato e capsula in alluminio	0,8	4863	3,89
		TOTALE	1038,08

MATERIALI PER IL PACKAGING

Tra i materiali coinvolti nel packaging figurano etichette, colla, film in plastica e scatole di cartone. Non è stato considerato il legno per via delle difficoltà nel reperire fattori emissivi significativi e per via del ridotto impiego dello stesso nel packaging rispetto alle scatole di cartone.

Di seguito i fattori emissivi tratti dal documento dell'OIV.

Tabella 26. Fattori emissivi dei materiali per il confezionamento (OIV)

Input	Emission factor (kg.eq.CO /t)	Source
Paper labels (printed)	2930	ADEME (2014)
Glue (starch)	550	ADEME (2014)
Plastic film PET (non recyclable)	5500	ADEME (2014)
Cardboard	1060 1792	ADEME (2014) WFA GHG calculator

Come fattore emissivo relativo al cartone (cardboard) si è scelto di utilizzare quello fornito da ADEME per avere omogeneità nelle fonti.

In tabella 27 sono presenti i calcoli e i valori delle emissioni di anidride carbonica equivalente ottenuti.

Tabella 27. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo di materiali per il packaging

MATERIALI PER PACKAGING			
MATERIALE	Quantità utilizzata (t)	FE	Emissioni
-	t	kg _{CO2,eq} /t	t _{CO2,eq}
Etichette (stampate)	2	2930	5,86
Colla (amido)	1,8	550	0,99
Film di plastica (non riciclabile)	2,5	5500	13,75
Scatole di cartone	300	1060	318
		TOTALE	338,60

EMISSIONI TOTALI PER MATERIALI DI CONFEZIONAMENTO

Si riassumono e aggregano in tabella 28 le emissioni dovute all'utilizzo di materiali per il confezionamento.

Tabella 28. Emissioni di GHG dovute all'utilizzo dei materiali per il confezionamento

MATERIALI PER CONFEZIONAMENTO	
MATERIALI PER...	EMISSIONE
-	t _{CO2,eq}
IMBOTTIGLIAMENTO	1482,54
TAPPATURA	1038,08
PACKAGING	338,60
TOTALE	2859,22

Sistema antincendio

Il sistema antincendio presente all'interno dell'azienda è basato sulla presenza capillare di estintori all'interno dei locali dello stabilimento e degli uffici.

Sono in particolare presenti due tipologie di estintori: l'una ad anidride carbonica liquida e l'altra a polvere estinguente ABC.

I fattori emissivi dei due agenti antincendio corrispondono in questo caso con il loro GWP₁₀₀ e sono riportati in tabella 29:

Tabella 29. Fattori emissivi degli agenti antincendio contenuti negli estintori

GHG	GWP ($t_{CO_2,eq}/t_{GHG}$)
Polvere ABC	0
CO2	1

Per valutare la quantità di CO2 acquistata nell'anno 2018 ai fini di integrare o sostituire gli estintori soggetti a perdite sono state consultate le fatture emesse per la manutenzione e il controllo.

Da esse è risultato che durante l'anno 2018 non è stata acquistata CO2 per estintori e, pertanto, non sono state registrate perdite, e quindi emissioni, dal sistema antincendio.

Tabella 30. Emissioni di GHG dovute al sistema antincendio

SISTEMA ANTINCENDIO - 2018						
Data fattura	N. fattura	Tipo	Capacità [kg]	Unità acquistate	Fluido perso [kg]	Emissione [tCO2eq]
43291	0024443	CC	0	0	0	0
		PP	0	0	0	0
43448	0032415	CC	0	0	0	0
		PP	0	0	0	0
43455	0032422	CC	0	0	0	0
		PP	0	0	0	0
					TOTALE	0

Con le sigle CC e PP si fa riferimento rispettivamente alle tipologie di estintore ad anidride carbonica e a polvere estinguente ABC.

4.2.4 Analisi delle emissioni

I risultati ottenuti tramite i procedimenti descritti nella trattazione sin qui condotta sono stati aggregati e organizzati in tabelle e grafici di seguito riportati e commentati.

Emissioni per categoria

I contributi emissivi delle singole sorgenti sono stati suddivisi e sommati al fine di valutare l'impatto di ciascuna delle categorie proposte dalla normativa ISO 14064-1.

Nella tabella e nel grafico seguenti sono riportati i valori ottenuti.

Tabella 31. Emissioni di GHG totali per categoria di emissione

EMISSIONI PER CATEGORIA		
CATEGORIA	EMISSIONI [tCO2eq]	PESO
EMISSIONI DIRETTE	857,8	21,4%
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AD IMPORTAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	260,1	6,5%
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AI TRASPORTI	15,6	0,4%
EMISSIONI INDIRETTE ASSOCIATE A PRODOTTI UTILIZZATI	2878,5	71,7%
TOTALE	4012,1	100,0%

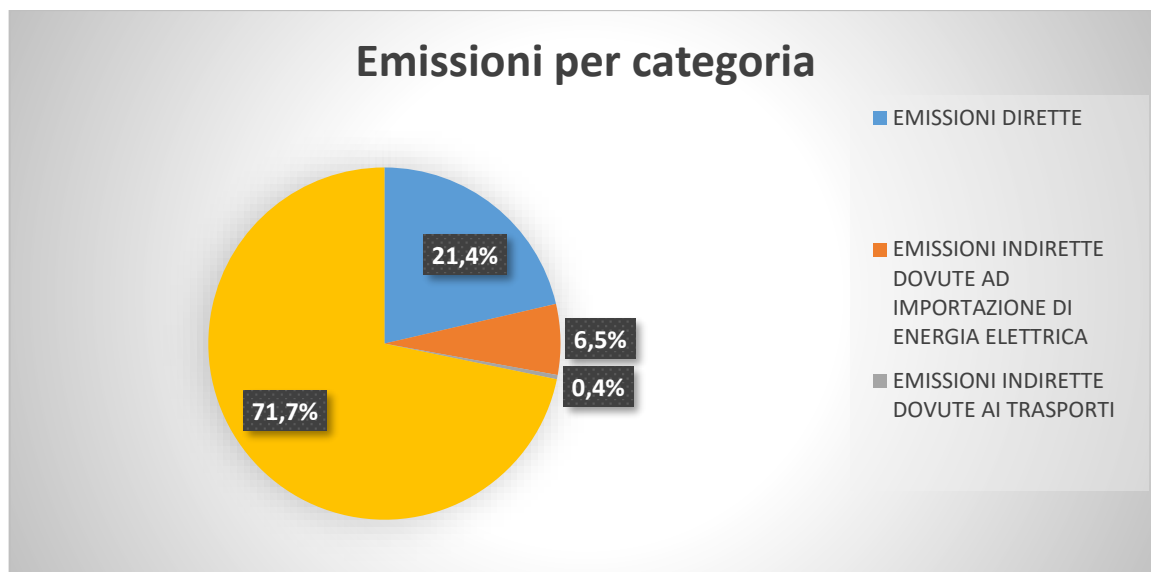


Figura 30. Emissioni di GHG totali per categoria di emissione

Si osservi come il primato emissivo è ampiamente detenuto dalla categoria “Emissioni indirette associate a prodotti utilizzati” con il 71,7 % delle emissioni totali.

L’insieme di emissioni dirette ed indirette dovute ad importazione di energia elettrica non arriva al 28 % mentre le emissioni indirette dovute ai trasporti rappresentano lo 0,4 %.

Questi numeri sono facilmente giustificabili se si osserva il dettaglio delle emissioni relativo alle singole sorgenti riportato in tabella 32 e in figura 31.

Tabella 32. Inventario delle emissioni dell'organizzazione

INVENTARIO DELLE EMISSIONI					
CATEGORIA	TIPOLOGIA	PROCESSO/IMPIANTO	SORGENTE EMISSIONE	EMISSIONI [tco2eq]	PESO
EMISSIONI DIRETTE	NON BIOGENICHE	GENERAZIONE DI CALORE	GENERATORE DI VAPORE	221,8	5,5%
	NON BIOGENICHE		CALDAIA	19,0	0,5%
	NON BIOGENICHE	TRASPORTI	AUTO AZIENDALI	61,5	1,5%
	BIOGENICHE ANTROPOGENICHE	VINIFICAZIONE	FERMENTAZIONE ALCOLICA	541,3	13,5%
	NON BIOGENICHE	VINIFICAZIONE	REFRIGERAZIONE	14,3	0,4%
	NON BIOGENICHE	SISTEMA ANTINCENDIO	IMPIANTO ANTINCENDIO	0,0	0,0%
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AD IMPORTAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	NON BIOGENICHE	APPROVVIGIONAMENTO ENERGIA ELETTRICA	STABILIMENTO	260,1	6,5%
EMISSIONI INDIRETTE DOVUTE AI TRASPORTI	NON BIOGENICHE	TRASPORTI	AUTO DIPENDENTI	15,6	0,4%
EMISSIONI INDIRETTE ASSOCIATE A PRODOTTI UTILIZZATI	NON BIOGENICHE	VINIFICAZIONE	ADDITIVI PER VINIFICAZIONE	18,6	0,5%
	NON BIOGENICHE	PULIZIA	PRODOTTI PULIZIA	0,7	0,02%
	NON BIOGENICHE	MATERIALI DI CONFEZIONAMENTO	MATERIALI PER IMBOTTIGLIAMENTO	1482,5	37,0%
	NON BIOGENICHE		MATERIALI PER TAPPATURA	1038,1	25,9%
	NON BIOGENICHE		MATERIALI PER PACKAGING	338,6	8,4%
TOTALE				4012,1	100,0%

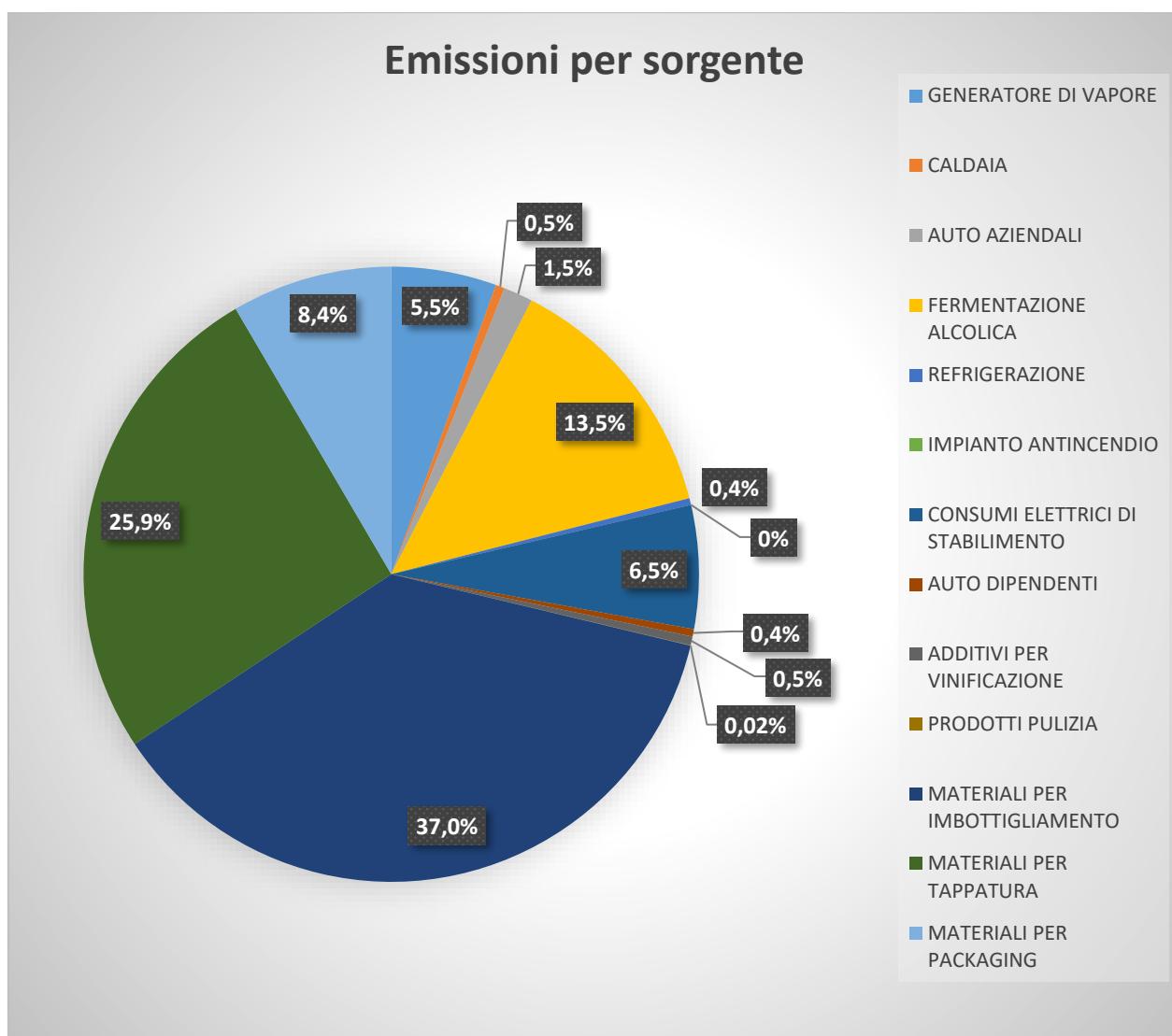


Figura 31. Composizione percentuale per sorgente delle emissioni totali di GHG dell'organizzazione

Le due maggiori sorgenti emmissive sono quelle dovute all'utilizzo dei materiali per l'imbottigliamento (37,0 %) e per la tappatura (25,9 %): entrambe rientrano nella categoria delle "emissioni indirette associate a prodotti utilizzati" giustificandone il grande peso rispetto alle altre categorie.

Altra sorgente degna di nota è quella rappresentata dall'emissione di CO₂ da fermentazione alcolica, unica sorgente biogenica antropogenica riscontrata nell'intero inventario, che rappresenta il 13,5 % delle emissioni totali.

Le emissioni direttamente legate al consumo di energia termica ed elettrica coprono invece solo il 12,5 % con un contributo del 6 % delle emissioni dovute alla produzione di energia termica (5,5 % dal generatore di vapore e 0,5 % dalla caldaia per gli uffici) e del 6,5 % dovuto al consumo di energia elettrica prelevata dalla rete.

Emissioni per processo

Visti i valori indicati nel paragrafo precedente, risulta di interesse osservare la distribuzione delle emissioni suddivise per processo di appartenenza delle sorgenti emmissive.

Tale impostazione non rientra fra quelle suggerite dalla normativa ma può avere una certa rilevanza al fine di valutazioni interne all'azienda e alla gestione interna.

In tabella 33 e in figura 32 sono riportati secondo tale impostazione i valori di emissioni quantificati.

Tabella 33. Emissioni di GHG totali per processo

EMISSIONI PER PROCESSO		
PROCESSO/IMPIANTO	EMISSIONI [tCO ₂ eq]	PESO
APPROVVIGIONAMENTO ENERGIA ELETTRICA	260,1	6,5%
GENERAZIONE DI CALORE	240,8	6,0%
TRASPORTI	77,1	1,9%
VINIFICAZIONE	574,1	14,3%
PULIZIA	0,7	0,02%
MATERIALI DI CONFEZIONAMENTO	2859,2	71,3%
SISTEMA ANTINCENDIO	0,0	0%
TOTALE	4012,1	100,0%

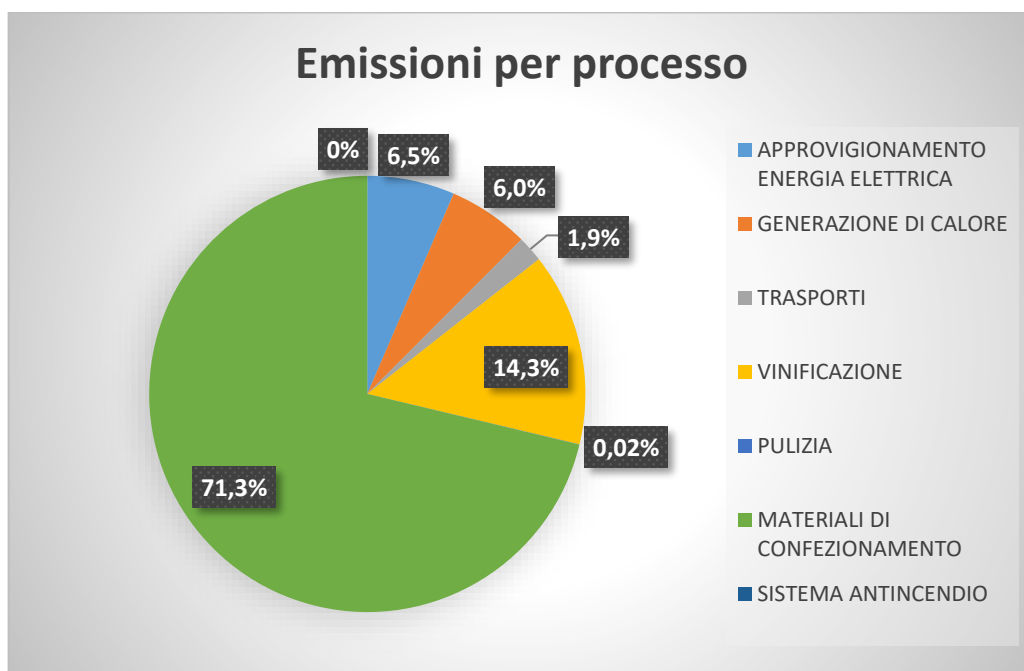


Figura 32. Composizione percentuale per processo delle emissioni di GHG totali

Come sarebbe stato possibile già dedurre dalle informazioni illustrate in precedenza, il processo che più di tutti influisce sulle emissioni dell'intera azienda è quello di confezionamento, non tanto per l'energia sfruttata (qui indicata separatamente nelle voci "approvvigionamento energia elettrica" e "generazione di calore") quanto per le emissioni dovute all'utilizzo dei materiali necessari a questa fase della produzione. Vale dunque la pena rivolgere una maggiore attenzione a tale processo.

Emissioni legate ai materiali confezionamento

In figura 33 viene riportata la suddivisione secondo le sorgenti emissive delle emissioni relative al processo di confezionamento:

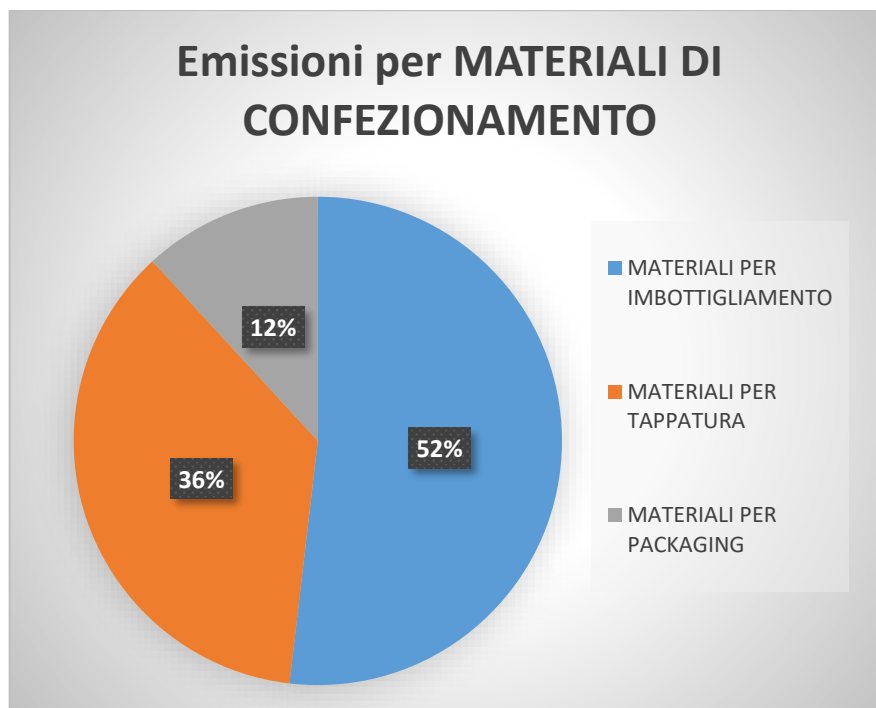


Figura 33. Composizione percentuale delle emissioni di GHG del processo di confezionamento

Come già evidenziato, tutte le emissioni dovute al confezionamento sono emissioni indirette associate a prodotti utilizzati, di questi è facilmente identificabile il contributo di un prodotto: la bottiglia di vetro.

Il 52 % delle emissioni per il confezionamento è dovuto ai materiali per l'imbottigliamento ovvero il vetro necessario alla produzione delle bottiglie.

Il processo di produzione del vetro è noto per essere uno dei processi produttivi più energivori e questo giustifica la grande quota di emissioni dovuto all'utilizzo di tale materiale. Per questo motivo l'utilizzo delle bottiglie in vetro deve sicuramente essere messo in discussione durante un eventuale analisi volta alla riduzione delle emissioni dell'organizzazione.

4.2.5 Utilizzo dell'inventario dei GHG per il calcolo della CFP

I dati raccolti ed elaborati durante la costruzione dell'inventario dei GHG rappresentano una preziosa risorsa ai fini della valutazione dell'impronta di carbonio dei prodotti di un'organizzazione: la suddivisione delle emissioni rispetto a processi e sorgenti emmissive costituisce infatti una prima linea guida utile al procedimento di allocazione delle emissioni necessario allo studio di CFP.

Con riferimento specifico al caso studio, viste le difficoltà nel reperimento dei dati illustrate nei paragrafi successivi, i risultati ottenuti nella stesura dell'inventario dei GHG sono stati utilizzati come base necessaria alla stima delle emissioni specifiche.

4.3 Stima delle emissioni specifiche

4.3.1 Difficoltà nel reperimento dei dati

Il valore di carbon footprint di un prodotto (CFP) è il perno attorno a cui ruota la piattaforma blockchain introdotta nei capitoli precedenti: agli occhi degli utenti della piattaforma esso dovrebbe infatti essere il mezzo attraverso cui concretizzare i discorsi sulle emissioni di gas serra associando un valore emissivo ben definito ad uno specifico prodotto.

Proprio questa specificità ha comportato grandi difficoltà nell'analisi del caso studio, con riferimento particolare al procedimento di allocazione delle emissioni rispetto ad una definita unità funzionale.

Per raggiungere un livello di precisione significativo si è infatti dovuto rinunciare a dettagliare l'impronta di carbonio rispetto ai singoli prodotti dell'azienda in favore di una carbon footprint calcolata su un prodotto medio rappresentativo dell'intera produzione aziendale.

Le difficoltà nel reperimento delle informazioni sono associabili a tre fattori principali:

- **Fasi di processo comuni a differenti processi di produzione:** i sistemi di prodotto (intesi secondo la definizione data dalla normativa) sono spesso interconnessi tra loro e non è raro trovare macchinari appartenenti a più sistemi di prodotto. Ecco che associare i consumi energetici, e le conseguenti emissioni di GHG, di un determinato macchinario ad uno specifico sistema di prodotto diventa un'impresa ardua, quasi impossibile se viene anche a mancare un puntuale misuratore dei consumi del macchinario.
- **Dati sensibili o riservati:** molte delle informazioni necessarie all'allocazione delle emissioni di gas serra sono riservate in quanto caratteristiche uniche del processo produttivo; i tempi di lavorazione e le dosi degli additivi per la vinificazione sono esempi di questa tipologia di dati. Tra i dati sensibili si annoverano invece i dati relativi alla produzione e alla vendita.
- **Dati non organizzati:** si può affermare con una certa approssimazione che tutti i dati necessari al calcolo dell'impronta di carbonio siano conservati nei registri e nei database dell'azienda. Considerati però non rilevanti al fine della gestione aziendale, l'esistenza di alcuni di questi dati è spesso nota solo ad alcuni membri del personale dell'azienda e questo comporta che per avere accesso a questi dati ci sia bisogno di una lunga e articolata collaborazione con differenti figure chiave all'interno dell'organizzazione aziendale e addirittura, per i prodotti acquistati da ditte esterne, con figure esterne all'azienda. L'esempio più lampante è forse quello relativo ai materiali acquistati dall'azienda per l'imbottigliamento dei vini e degli spumanti: non vi è alcuna necessità di mascherare le informazioni riguardanti i componenti del packaging ma risalire ai quantitativi specifici utilizzati per il singolo prodotto e alle caratteristiche dei materiali di packaging stessi (tipo di materiale e peso, ad esempio, necessari alla ricerca del fattore emissivo più adeguato) comporta spesso una ricerca certosina e lunghi tempi d'attesa.

I tre fattori evidenziati hanno caratterizzato la ricerca e l'organizzazione dei dati e con l'aiuto della documentazione fornita da Trigenia srl è stato possibile reperire alcune delle informazioni necessarie al lavoro di tesi ma non tutte: si è dunque deciso di procedere ad uno studio di CFP semplificato, ponendosi come obiettivo la stima dell'impronta emissiva dei prodotti dell'organizzazione cercando di attenersi il più possibile ai principi e ai procedimenti illustrati dalla normativa ISO 14067 e ai concetti relativi alla LCA ivi contenuti. Il taglio del lavoro effettuato è dunque quello di uno studio preliminare di CFP, propedeutico a quello che potrebbe essere la certificazione vera e propria eseguita in occasione della costruzione vera e propria della piattaforma ipotizzata.

4.3.2 Unità di riferimento e limitazioni al ciclo di vita del prodotto

Nonostante le considerazioni fatte nel paragrafo precedente, il tipo di processo analizzato non si presta all'utilizzo di un'*unità dichiarata* ma è il tipico caso in cui è necessario utilizzare un'*unità funzionale*, come peraltro suggerito dalle relative regole di categoria di prodotto (PCR), corrispondente alla bottiglia di vino/spumante.

Si è dunque tentato di quantificare la massa di gas serra emessi in atmosfera necessaria alla produzione di una singola bottiglia prodotta dall'azienda analizzata, differenziando rispetto ai differenti formati adottati dall'azienda ma non rispetto alle diverse tipologie di vino e spumante: per le già illustrate difficoltà riscontrate nell'allocare in modo significativo le emissioni nei processi di vinificazione e spumantizzazione, si è deciso dunque di considerare i formati delle generiche bottiglie prodotte senza distinguere tra vini rossi, vini bianchi e spumanti.

Questa semplificazione può risultare molto forte ma la si è reputata accettabile considerando che le principali differenze emissive nei differenti sistemi di prodotto si hanno in relazione ai consumi energetici (che come visto rappresentano il 12% sul totale delle emissioni) ed eventualmente rispetto agli additivi utilizzati che a loro volta causano una percentuale molto bassa delle emissioni totali (0,5 %) dovuta al loro utilizzo.

Come già fatto per la costruzione dell'inventario dei GHG si è deciso di adottare un approccio che escluda le fasi di produzione della materia prima (delle uve) e la fase di fine vita: si è dunque passati dall'impostazione "cradle-to-grave" (dalla culla alla tomba) tipica dell'LCA ad un'impostazione "gate-to-gate" (da cancello a cancello) comprendente dunque le emissioni relative alla vita del prodotto da quando arriva in azienda come materia prima a quando ne esce come prodotto finito.

Questa scelta è stata effettuata a causa della grande varietà riscontrata nella materia prima (proveniente da numerose aziende viticole differenti) e della difficoltà nel definire in modo significativo le fasi di vita dei prodotti una volta usciti dai confini aziendali.

Riassumendo tutte le considerazioni fatte è possibile affermare che quello che verrà illustrato nel proseguo della trattazione è una serie di studi di CFP effettuati su più unità funzionali, corrispondenti ai diversi formati di bottiglie prodotte dall'azienda (0,375 l, 0,75 l, 1,5 l, 2 l, 3 l, 5 l, 12 l), con un approccio gate-to-gate comprensivo di tutte le fasi di vita dei prodotti che avvengono entro i confini dell'azienda.

4.3.3 Obiettivi e campo di applicazione

Lo studio di CFP si propone di stimare l'impronta di carbonio dei prodotti dell'azienda studiata relativi all'anno solare 2018, al fine di conoscerne l'entità e di analizzare possibili interventi volti a ridurre l'impatto sul clima.

Tale informazioni dovranno dunque essere comunicate al personale tecnico e amministrativo dell'azienda ma dovranno allo stesso tempo poter essere divulgate al pubblico tramite la piattaforma blockchain precedentemente introdotta ed eventualmente riportate dunque sulla confezione dei prodotti.

4.3.4 Analisi dell'inventario del ciclo di vita

Nella stesura dell'inventario del ciclo di vita dei prodotti all'interno dell'azienda ci si è basati ampiamente sulle fasi di processo individuate nei capitoli precedenti.

Forti delle informazioni ottenute attraverso la costruzione dell'inventario dei GHG si è deciso di rimandare l'allocazione delle emissioni (con tutte le deroghe introdotte in precedenza) alla fase successiva dello studio.

Nelle tabelle seguenti si riportano le fasi di processo individuate con i relativi flussi di energia e di materia.

Alcune precisazioni:

- Input esterni: sono i flussi di materia e di energia introdotti nel processo che non derivano da precedenti fasi del processo;
- Input interni: sono i flussi di materia e di energia introdotti nel processo che derivano da precedenti fasi del processo;
- Output interni: sono i flussi di materia e di energia prodotti dalla fase di processo e condotti verso la fase successiva;
- Output esterni: sono i flussi di materia e di energia prodotti dalla fase di processo che vengono scartati e dunque indirizzati all'esterno del processo.

Tabella 34. Flussi di materia ed energia del processo di vinificazione

PROCESSO DI VINIFICAZIONE	
FASE DI PROCESSO	FLUSSI
DIRASPATURA E PIGIATURA	INPUT ESTERNI: Grappoli d'uva, energia elettrica INPUT INTERNI: CO2 per refrigerazione OUTPUT INTERNI: Mosto+vinacce OUTPUT ESTERNI: Raspi, CO2
PRESSATURA E SGRONDATURA	INPUT ESTERNI: Energia elettrica INPUT INTERNI: Mosto+vinacce OUTPUT INTERNI: Mosto OUTPUT ESTERNI: Vinacce
FERMENTAZIONE ALCOLICA	INPUT ESTERNI: Energia elettrica, additivi fermentazione INPUT INTERNI: Mosto, energia termica, energia frigorifera OUTPUT INTERNI: Vino semilavorato OUTPUT ESTERNI: CO2 da fermentazione
AFFINAMENTO VINO	INPUT ESTERNI: Additivi affinamento, energia elettrica INPUT INTERNI: Vino semilavorato OUTPUT INTERNI: Vino
IMBOTTIGLIAMENTO	INPUT ESTERNI: Bottiglie di vetro, materiali tappatura, materiali packaging, energia elettrica, acqua INPUT INTERNI: Vino, aria compressa, energia termica OUTPUT ESTERNI: Bottiglia di vino

Tabella 35. Flussi di materia ed energia del processo di produzione dello spumante

PROCESSO DI PRODUZIONE DELLO SPUMANTE	
FASE DI PROCESSO	FLUSSI
ASSEMBLAGGIO VINI BASE	INPUT ESTERNI: Energia elettrica INPUT INTERNI: Vini bianchi OUTPUT INTERNI: Cuvée di vini
FERMENTAZIONE ALCOLICA IN AUTOCLAVE	INPUT ESTERNI: Energia elettrica, additivi fermentazione INPUT INTERNI: Cuvée di vini, energia termica, energia frigorifera OUTPUT INTERNI: Spumante semilavorato
FILTRAZIONE E CENTRIFUGAZIONE ISOBARICHE	INPUT ESTERNI: Energia elettrica INPUT INTERNI: Spumante semilavorato, aria compressa OUTPUT INTERNI: Spumante semilavorato OUTPUT ESTERNI: Residui solidi
REFRIGERAZIONE IN AUTOCLAVE	INPUT ESTERNI: Additivi refrigerazione, energia elettrica INPUT INTERNI: Spumante semilavorato, energia frigorifera, aria compressa OUTPUT INTERNI: Spumante
IMBOTTIGLIAMENTO	INPUT ESTERNI: Bottiglie di vetro, materiali tappatura e per packaging, energia elettrica, acqua INPUT INTERNI: Vino, aria compressa, energia termica OUTPUT ESTERNI: Bottiglia di vino

Tabella 36. Flussi di materia ed energia degli ausiliari di processo

AUSILIARI DI PROCESSO	
AUSILIARI	FLUSSI
GENERAZIONE DI CALORE	INPUT ESTERNI: Gas naturale, energia elettrica OUTPUT INTERNI: Energia termica OUTPUT ESTERNI: Emissioni in atmosfera
PRODUZIONE DEL FREDDO	INPUT ESTERNI: Energia elettrica OUTPUT INTERNI: Energia frigorifera
PRODUZIONE ARIA COMPRESSA	INPUT ESTERNI: Energia elettrica OUTPUT INTERNI: Aria compressa
ILLUMINAZIONE	INPUT ESTERNI: Energia elettrica OUTPUT INTERNI: Luce

4.3.5 Allocazione delle emissioni e valutazione della CFP

Per allocare le emissioni di gas serra individuate durante la costruzione dell'inventario dei GHG è stato necessario, in prima battuta, analizzare i dati di produzione disponibili in termini di numero di bottiglie prodotte e di formato delle stesse.

Tabella 37. Dati produzione 2018

2018			
TIPOLOGIA DI VINO	FORMATO BOTTIGLIA (L)	BOTTIGLIE PRODOTTE	VOLUME PRODOTTO (L)
ROERO ARNEIS	0,75	99049	74287
ASTI	0,375	5155	1933
ASTI	0,75	166641	124981
BARBARESCO	0,75	101998	76498
BARBERA D'ALBA TIPO 1	0,375	2255	846
BARBERA D'ALBA TIPO 1	0,75	226047	169535
BARBERA D'ALBA TIPO 1	1,5	451	677
BARBERA D'ALBA TIPO 2	3	623	1869
BARBERA D'ALBA TIPO 3	0,75	100023	75017
BARBERA D'ALBA TIPO 3	12	32	387
BARBERA D'ASTI TIPO 1	0,75	72027	54021
BARBERA D'ASTI TIPO 2	0,75	42724	32043
BAROLO TIPO 1	0,375	16342	6128
BAROLO TIPO 1	0,75	312945	234709
BAROLO TIPO 1	1,5	644	967
BAROLO TIPO 1	3	32	97
BAROLO TIPO 1	5	31	156
BAROLO TIPO 1	12	5	64
BAROLO TIPO 2	0,75	13945	10459
BAROLO TIPO 2	1,5	161	242
BAROLO TIPO 3	0,75	13498	10124
BAROLO TIPO 3	1,5	215	322
BAROLO TIPO 4	0,75	12375	9281
BAROLO TIPO 4	1,5	161	242
BAROLO TIPO 5	0,75	13769	10327
BAROLO TIPO 5	1,5	161	242
BAROLO TIPO 6	0,75	13856	10392
BAROLO TIPO 6	1,5	161	242
BRACH D'ACQUI	0,75	82109	61582
DOLCETTO D'ALBA TIPO 1	0,75	347804	260853
DOLCETTO D'ALBA TIPO 1	0,375	1061	398
DOLCETTO D'ALBA TIPO 2	0,375	3609	1353
DOLCETTO D'ALBA TIPO 2	0,75	27447	20586
GAVI TIPO 1	0,75	186736	140052
GAVI TIPO 2	0,375	3609	1353
GAVI TIPO 2	0,75	160833	120625
LANGHE BIANCO	0,75	7159	5370
LANGHE CHARDONNAY TIPO 1	0,375	4036	1514
LANGHE CHARDONNAY TIPO 1	0,75	96054	72041
LANGHE CHARDONNAY TIPO 2	0,75	14304	10728
LANGHE NEBBIOLO	0,375	2191	822
LANGHE NEBBIOLO	0,75	258552	193914
LANGHE ROSSO	0,75	57280	42960
MOSCATO D'ASTI	0,75	394946	296209
MOSCATO SPUMANTE	0,75	143731	107799
PIEMONTE ROSATO	0,75	13614	10211
PINOT CHARDONNAY	0,75	171080	128310
MOSCATO ROSE	0,75	28524	21393

VINO BIANCO	0,75	16033	12025
VINO BIANCO	2	2072	4144
VINO ROSSO	0,75	14233	10675
VINO ROSSO	2	2784	5568
BRACHETTO SPUMANTE	0,75	2784	2088
BRACHETTO	0,75	14233	10675
MOSCATO SPUMANTE	0,75	14233	10675
TOTALE		3286377	2460001

Le informazioni relative alla produzione sono poi stata aggregate secondo le unità funzionali in precedenza individuate: in questa fase sono state anche calcolate il peso percentuale di ciascun formato di bottiglia rispetto al totale delle bottiglie prodotte dall'azienda e rispetto al volume totale di vino/spumante prodotto dalla stessa.

Tabella 38. Produzione 2018 dei diversi formati

PRODUZIONE 2018				
FORMATO (L)	TOTALE BOTTIGLIE	TOTALE VOLUME (L)	%bottiglie	%volume
0,375	38258	14347	1,16	0,58
0,75	3240584	2430438	98,61	98,80
1,5	1955	2932	0,06	0,12
2	4856	9711	0,15	0,39
3	655	1965	0,02	0,08
5	31	156	0,0009	0,01
12	38	451	0,0011	0,02
TOTALE	3286377	2460001	100	100

Il calcolo delle grandezze indicate in tabella con i termini “%bottiglie” e “%volume” è funzionale alle modalità di allocazione scelte: disponendo già dei quantitativi di emissioni di GHG associate ad ogni sorgente emissiva (grandezze calcolate per la costruzione dell'inventario dei GHG) si è deciso di allocare tali emissioni in modo proporzionale rispetto alla percentuale di bottiglie o di volume coperta da ciascun formato secondo la natura delle differenti sorgenti. Le emissioni relative ai trasporti, ad esempio, sono state allocate proporzionalmente al numero di bottiglie in quanto non dipendono in alcun modo dal formato delle bottiglie prodotte mentre quelle relative alla fermentazione sono state proporzionate rispetto al volume delle bottiglie: una bottiglia con formato 12 l sarà di certo responsabile maggiormente delle emissioni dovute alla fermentazione alcolica rispetto a una da 0,75 l.

Di seguito sono riportate in modo puntuale le scelte effettuate per le singole sorgenti:

- %bottiglie: stabilimento, caldaia, auto aziendali, auto dei dipendenti, materiali per imbottigliamento, materiali per tappatura, materiali per packaging, impianto antincendio;
- %volume: generatore di vapore, fermentazione alcolica, additivi per vinificazione, refrigerazione, prodotti per pulizia.

Tale metodo di allocazione è stato scelto considerando le informazioni ottenute: esso comporta una grande incertezza ma risulta comunque significativo nella stima degli ordini di grandezza.

Una particolare attenzione andrebbe inoltre dedicata ai “materiali per imbottigliamento”, ovvero alle bottiglie di vetro utilizzate. Si è scelto di allocare le emissioni inerenti al vetro di

tali bottiglie secondo la percentuale di bottiglie prodotte e non secondo il formato nonostante ad un formato più grande corrisponda di certo una massa maggiore di vetro impiegata per la bottiglia: tale incremento non è però direttamente proporzionale alla maggiore quantità di vino o spumante contenuta nella bottiglia e si è ritenuto fuorviante utilizzare quindi la “%volume”.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati del processo di allocazione effettuato.

Tabella 39. Allocazione delle emissioni rispetto a differenti formati

ALLOCAZIONE DELLE EMISSIONI							
PRODUZIONE 2018							
FORMATO	0,375	0,75	1,5	2	3	5	12
%bottiglie	1,16%	98,61%	0,06%	0,15%	0,02%	0,0009%	0,0011%
%volume	0,58%	98,80%	0,12%	0,39%	0,08%	0,01%	0,02%
EMISSIONI 2018 (tCO₂,eq)							
STABILIMENTO	3,03	256,51	0,15	0,38	0,05	0,00	0,00
GENERATORE DI VAPORE	1,29	219,13	0,26	0,88	0,18	0,01	0,04
CALDAIA	0,22	18,72	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
AUTO AZIENDALI	0,72	60,62	0,04	0,09	0,01	0,00	0,00
AUTO DIPENDENTI	0,18	15,38	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
FERMENTAZIONE ALCOLICA	3,16	534,76	0,65	2,14	0,43	0,03	0,10
ADDITIVI PER VINIFICAZIONE	0,11	18,35	0,02	0,07	0,01	0,00	0,00
REFRIGERAZIONE	0,08	14,10	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00
PRODOTTI PULIZIA	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MATERIALI PER IMBOTTIGLIAMENTO	17,26	1461,89	0,88	2,19	0,30	0,01	0,02
MATERIALI PER TAPPATURA	12,08	1023,62	0,62	1,53	0,21	0,01	0,01
MATERIALI PER PACKAGING	3,94	333,88	0,20	0,50	0,07	0,00	0,00
IMPIANTO ANTINCENDIO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALI	42,08	3957,69	2,86	7,90	1,28	0,08	0,18

Rapportando infine questi valori al quantitativo di bottiglie di ciascun formato prodotte nel 2018 si è ottenuto il valore di emissioni specifiche relativo al ciclo produttivo.

I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 40. Emissioni specifiche dei diversi formati

EMISSIONI SPECIFICHE FORMATI 2018	
FORMATO	EMISSIONI SPECIFICHE (kgCO₂eq/bott)
0,375	1,10
0,75	1,22
1,5	1,46
2	1,63
3	1,95
5	2,60
12	4,86

4.3.6 Interpretazione della CFP

I valori ottenuti tramite il processo di allocazione sono verosimili e paragonabili a quelli presenti in letteratura relativi ad altri vini italiani ed europei.

Si evidenziano inoltre i differenti valori di impronta di carbonio relativi ai vari formati, osservando una distribuzione dei valori intuitiva: a bottiglie più grandi, contenenti una maggior quantità di vino o spumante, corrispondono emissioni specifiche maggiori.

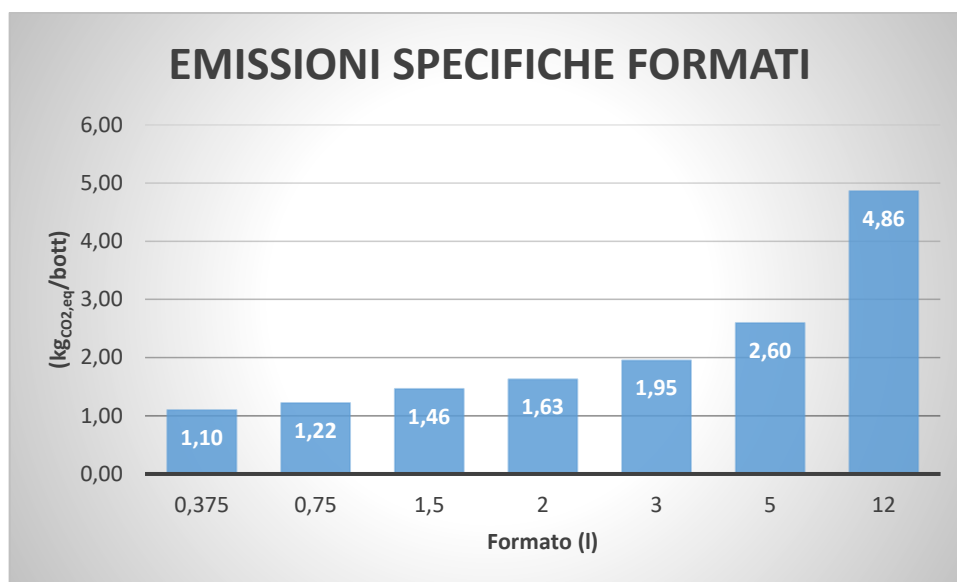


Figura 34. Confronto fra le emissioni specifiche dei differenti formati

Differente e significativo è però il calcolo delle emissioni specifiche relative al volume di vino contenuto in ciascun formato, ottenuto semplicemente rapportando le emissioni specifiche del formato con il volume di liquido in esso contenuto. I risultati sono riportati in tabella 41.

Tabella 41. Emissioni specifiche rispetto ad un litro di vino per i differenti formati.

EMISSIONI SPECIFICHE AL LITRO 2018	
FORMATO	EMISSIONI SPECIFICHE (kgCO ₂ eq/litro)
0,375	2,93
0,75	1,63
1,5	0,98
2	0,81
3	0,65
5	0,52
12	0,41

I valori ottenuti evidenziano una tendenza opposta a quella mostrata dalle emissioni specifiche relative al formato: all'aumentare della dimensione delle bottiglie diminuisce l'impronta di carbonio del volume di vino prodotto.

Questo fatto è facilmente riconducibile ai differenti contributi emissivi dei processi di produzione del vino e di imbottigliamento.

Come osservato in precedenza infatti, le emissioni relative ai materiali di confezionamento rappresentano più del 70 % delle emissioni totali ma esse non variano in modo direttamente proporzionale ai formati: le emissioni dovute al confezionamento di una bottiglia di vino con formato 12 litri sono paragonabili alle emissioni che si possono imputare al confezionamento di una bottiglia di vino da 0,375 l. Disponendo di dati specifici relativi alle masse di vetro dei

differenti formati di bottiglia sarebbe opportuno ricalibrare questo tipo di proporzionalità che al momento si reputa però ragionevole.

Si riportano di seguito le emissioni specifiche relative alla produzione di un litro di vino.

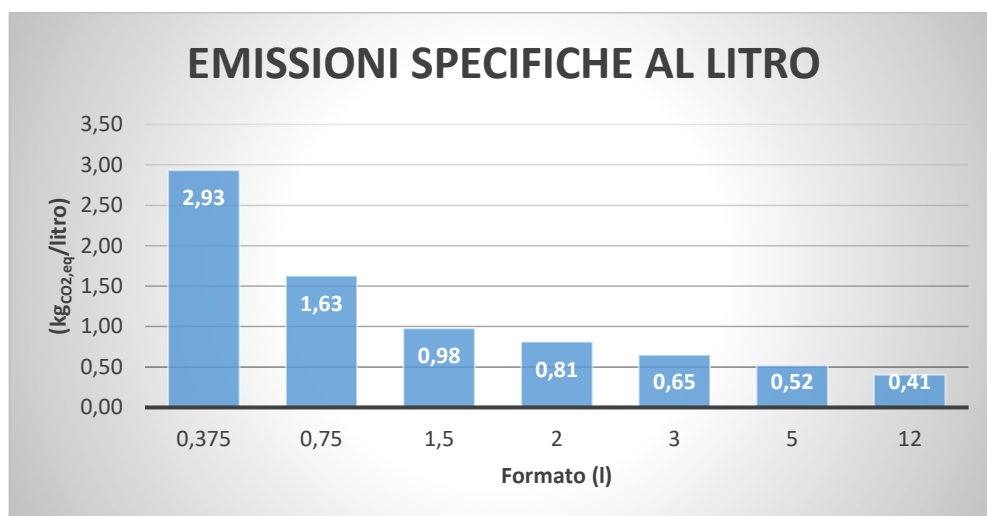


Figura 35. Confronto fra le emissioni specifiche rispetto ad un litro di vino prodotto dei differenti formati

4.3.7 Concordeza con gli obiettivi dello studio di CFP

Lo studio di CFP effettuato meriterebbe ulteriori approfondimenti in quanto, come spiegato in precedenza, presenta alcune semplificazioni e fonda il proprio sviluppo sui risultati ottenuti durante la stesura dell'inventario dei GHG, ma è stato sviluppato in linea con i principi e le linee guida proposte nella normativa ISO 14067.

Per questo motivo, le stime ottenute rappresentano comunque approssimazioni ragionevoli dei valori reali e permettono una significativa analisi dei contributi emissivi delle differenti fasi del processo produttivo, dando la possibilità di individuare le criticità maggiori su cui strutturare futuri interventi migliorativi come indagato nel proseguo della trattazione.

Nel contesto del lavoro svolto e considerato il valore esemplificativo dello stesso si reputano dunque raggiunti gli obiettivi definiti in precedenza.

4.4 Interventi di risparmio energetico ed emissivo

Dopo le analisi effettuate nel contesto della costruzione dell'inventario dei GHG e della stima delle emissioni specifiche dei prodotti, sono stati ipotizzati alcuni possibili interventi per la riduzione delle emissioni dovute al processo di produzione.

Ci si è in particolar modo soffermati sugli interventi relativi al consumo di energia elettrica: nonostante solo il 6,5 % delle emissioni di stabilimento siano imputabili ad esso, vi sono diversi modi di intervenire al fine di ridurre l'entità e ne è derivata un'interessante analisi teoricamente applicabile in modo indiretto anche ad altre tipologie di emissioni riscontrate.

4.4.1 Interventi di efficientamento energetico

La prima tipologia di intervento valutata è quella relativa all'efficientamento energetico delle linee produttive: aumentare l'efficienza energetica dei macchinari significa ridurre il consumo di energia consumata a parità di prestazione fornita. Una riduzione dei consumi comporta quindi anche una riduzione delle emissioni di GHG imputabili all'organizzazione, in particolar modo delle emissioni indirette dovute, appunto, al consumo di energia elettrica.

Coefficienti di risparmio energetico

Gli interventi analizzati non sono stati valutati in modo rigoroso ma se ne è stimata la loro entità: sono stati infatti individuate le più comuni tipologie di intervento effettuate nell'ambito degli interventi di efficientamento e si è ricercato in letteratura un coefficiente di risparmio energetico medio caratterizzante ciascuna tipologia di interventi.

I valori così ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 42. Coefficienti di risparmio relativi agli interventi di efficientamento energetico

COEFFICIENTI DI RISPARMIO ENERGETICO	
TIPOLOGIA INTERVENTO	[%]
INSTALLAZIONE INVERTER SU POMPE	20
RISANAMENTO FUGHE ARIA COMPRESSA	12
INSTALLAZIONE INVERTER SU COMPRESSORI	35
SOSTITUZIONE APPARECCHI ILLUMINAZIONE CON LED	50

A questi si va ad aggiungere il coefficiente di risparmio energetico valutato in relazione alla sostituzione del gruppo frigo presente nello stabilimento e caratterizzato da un indice di efficienza energetica (EER – Energy Efficiency Ratio) pari a 2,5 con un gruppo frigo di pari potenza utile caratterizzato da un EER pari a 4.

$$\begin{aligned} EER &= \frac{Q_{freddo}}{E_{elettrica}} \\ \text{coefficiente di risparmio energetico} &= 100 - \frac{E_{elettrica,new}}{E_{elettrica,old}} * 100 \\ &= 100 - \frac{EER_{old}}{EER_{new}} * 100 = 100 - \frac{2,5}{4} * 100 = 37,5 \% \end{aligned}$$

Analisi dei consumi energetici

Basandosi sull'inventario dei macchinari contenuto nell'analisi energetica precedentemente effettuata da Trigenia srl è stata valutata l'entità dei consumi di energia elettrica suddivisi secondo il processo o il reparto produttivo:

Tabella 43. Consumi di energia elettrica secondo la destinazione d'uso

CONSUMI ENERGIA ELETTRICA 2018		
DESTINAZIONE D'USO	ENERGIA [kWh]	[%]
Vinificazione	144635	15,8
Spumanti	178025	19,5
Imbottigliamento	176483	19,3
Centrale termica	24538	2,7
Gruppo frigo	206250	22,6
Servizi gruppi frigo	88548	9,7
Ampliamento	10330	1,1
Illuminazione	69737	7,6
Altro	14863	1,6
TOTALE	913408	

Nota: "ampliamento" si riferisce ad un ampliamento del reparto di imbottigliamento in cui sono contenuti alcuni macchinari ausiliari alle operazioni di confezionamento.

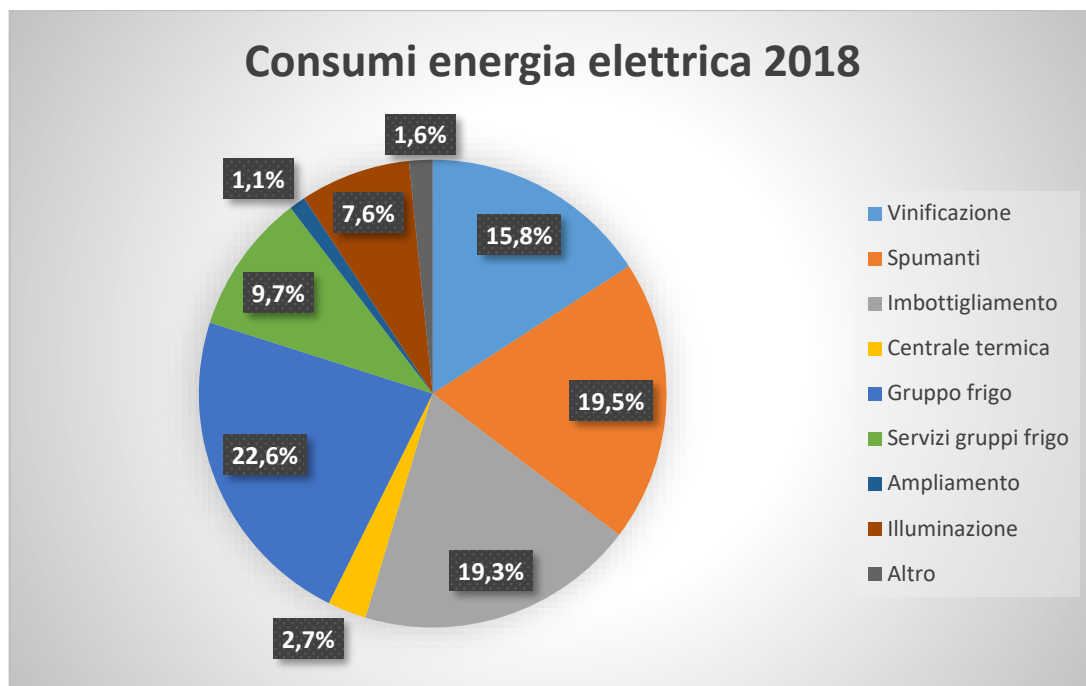


Figura 36. Suddivisione percentuale dei consumi di energia elettrica secondo la destinazione d'uso

Per ciascuno dei reparti e processi sono stati selezionati i macchinari relativi ai tipici interventi di efficientamento individuati in precedenza: pompe, compressori, apparecchi di illuminazione e gruppo frigo.

Lungo il processo produttivo è in particolare presente un nutrito gruppo di pompe di tipologia e dimensioni differenti ma sono state selezionate solo le macchine adatte ad un eventuale installazione di inverter: il criterio adottato si è basato su una potenza nominale minima accettabile (4 kW) e un adeguato numero di ore di lavoro annue (più di 1000 ore annuali).

Si sono dunque rivisti i consumi registrati durante il 2018 dello stabilimento evidenziando i contributi sui quali può essere ipotizzato un intervento di efficientamento.

I valori così ottenuti sono riportati in figura 37 e nella tabella 44.

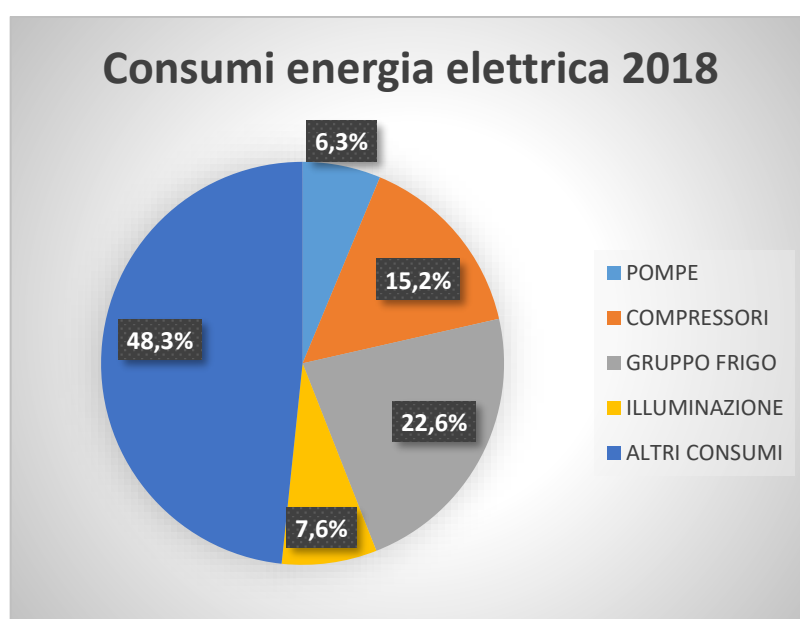


Figura 37. Suddivisione percentuale dei consumi di energia elettrica rispetto alle opportunità di efficientamento energetico.

Tabella 44. Consumi di energia elettrica secondo le opportunità di efficientamento energetico

CONSUMI ENERGIA ELETTRICA 2018		
DESTINAZIONE D'USO	ENERGIA [kWh]	[%]
POMPE	57313	6,3
COMPRESSORI	138600	15,2
GRUPPO FRIGO	206250	22,6
ILLUMINAZIONE	69737	7,6
ALTRI CONSUMI	441509	48,3
TOTALE	913408	100

Rispetto al totale dei consumi, come evidenziato in tabella, grande importanza hanno il gruppo frigo e i compressori: su entrambe le tipologie di consumi si possono ottenere dei risparmi significativi.

Stima delle riduzioni di consumo energetico

Applicando i coefficienti di riduzione dei consumi prima individuati ai consumi energetici evidenziati si sono ottenuti i risultati sotto riportati:

Tabella 45. Risparmi energetici ottenibili con gli interventi di efficientamento

CONFRONTO			
DESTINAZIONE D'USO	ENERGIA 2018	ENERGIA CON EFFICIENTAMENTO	RISPARMIO
	kWh	kWh	%
POMPE	57313	45850	20,0
COMPRESSORI	138600	79279	42,8
GRUPPO FRIGO	206250	128906	37,5
ILLUMINAZIONE	69737	34868	50,0
ALTRI CONSUMI	441509	441509	0,0
TOTALE	913408	730413	20,0

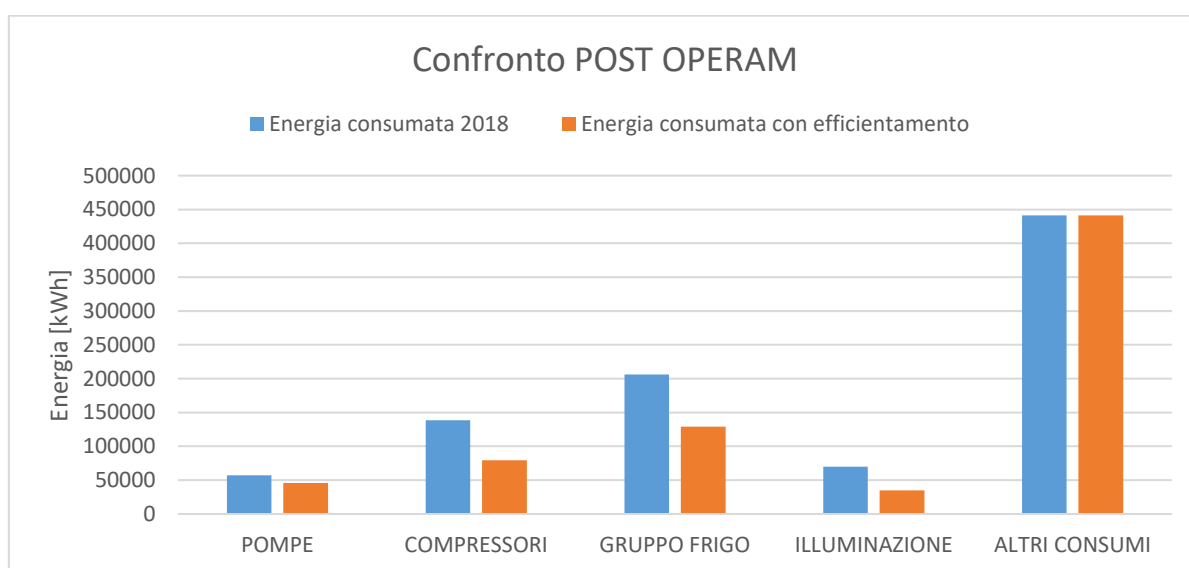


Figura 38. Confronto tra i consumi a seguito degli interventi di efficientamento

Per gli alti coefficienti di risparmio e la rilevanza dei consumi iniziali, i maggiori risparmi si registrano in corrispondenza di compressori e gruppo frigo.

Il risparmio indicato in relazione ai consumi energetici dei compressori è dovuto alla composizione dei coefficienti di risparmio dell'installazione dell'inverter sul compressore stesso e del risanamento delle fughe di aria compressa.

Il risparmio meno significativo, tanto in termini assoluti quanto in termini relativi, è quello osservato sulle pompe.

Dai calcoli effettuati si osserva come rispetto al totale dei consumi si possa ottenere un significativo risparmio energetico pari al 20 % dell'energia consumata.

In figura 39 si riportano le percentuali di consumi a seguito degli interventi di efficientamento evidenziando il risparmio energetico totale rispetto alla situazione iniziale.

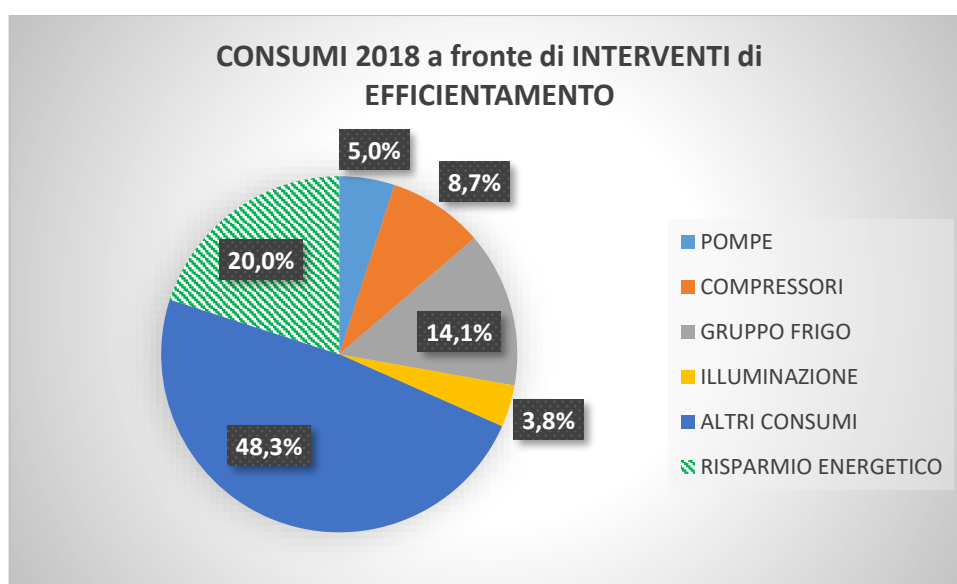


Figura 39. Composizione dei consumi di energia elettrica a fronte degli interventi di efficientamento energetico

Emissioni di GHG evitate

Si può facilmente associare, con proporzionalità diretta, il risparmio energetico a quello delle emissioni di GHG.

Come dimostrato in precedenza il consumo di energia elettrica è il responsabile del 6,5 % delle emissioni di GHG totali dell'organizzazione:

$$6,5 \% * 20\% = 1,3 \%$$

Ridurre i consumi di energia elettrica del 20 % significa dunque ridurre le emissioni totali dell'1,3 %.

4.4.2 Installazione di un impianto fotovoltaico

Tra gli interventi possibili si è considerata la possibilità di installare un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica destinata all'autoconsumo: secondo le linee guida delle normative, in quanto derivante da fonte rinnovabile, all'energia così ottenuta non si può imputare alcun tipo di emissione di GHG.

Tale impianto verrebbe installato sopra la superficie degli edifici dello stabilimento e si è calcolato che sarebbe caratterizzato da una potenza nominale di picco pari a 252 kW.

Utilizzo di PVGIS

Utilizzando la piattaforma online PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) si è potuta stimare l'energia prodotta da un simile impianto, nel contesto meteorologico e geografico adeguato, suddivisa lungo i mesi dell'anno.

In figura 40 è riportato il grafico contenuto nel report fornito da PVGIS dopo l'elaborazione dei dati.

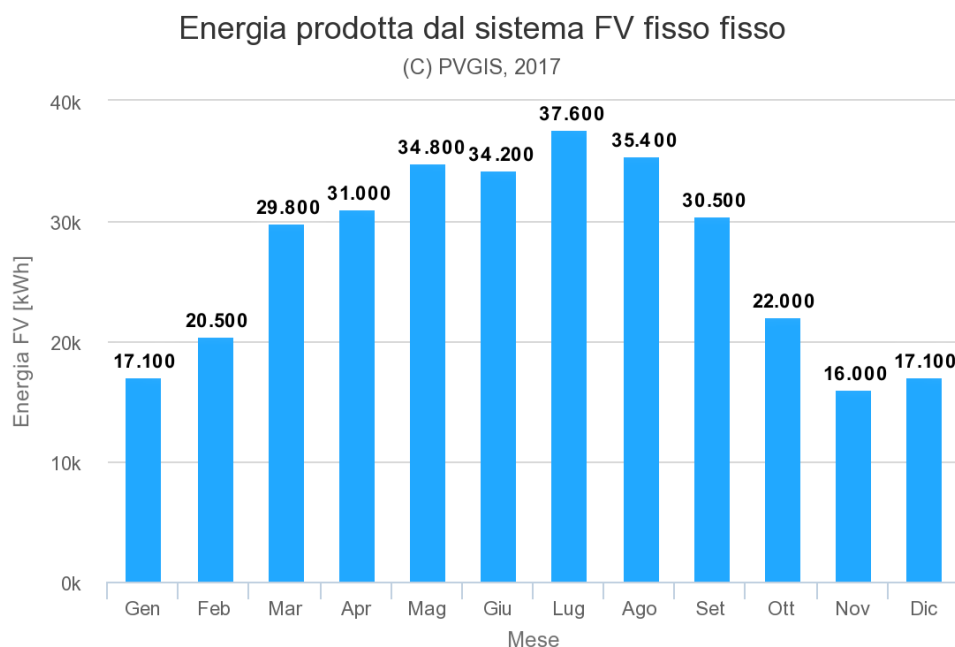


Figura 40. Energia elettrica prodotta mensilmente dall'impianto fotovoltaico ipotizzato

Riduzione dell'energia elettrica acquistata dalla rete

Accostando i dati ottenuti da PVGIS ai consumi mensili registrati durante l'anno 2018 si è potuto facilmente stimare il potenziale risparmio di energia elettrica acquistabile dalla rete di distribuzione nazionale:

Tabella 46. Risparmio di energia elettrica prelevata dalla rete con l'impianto fotovoltaico

	ENERGIA NECESSARIA	ENERGIA PRODOTTA	ENERGIA AUTOCONSUMATA	ENERGIA ACQUISTATA	RISPARMIO DI ENERGIA DALLA RETE
	kWh	kWh	kWh	kWh	%
gen	64182	17100	15390	48792	24,0
feb	62902	20500	18450	44452	29,3
mar	68117	29800	26820	41297	39,4
apr	63913	31000	27900	36013	43,7
mag	79905	34800	31320	48585	39,2
giu	84155	34200	30780	53375	36,6
lug	104003	37600	33840	70163	32,5
ago	89621	35400	31860	57761	35,5
set	94108	30500	27450	66658	29,2
ott	80537	22000	19800	60737	24,6
nov	60524	16000	14400	46124	23,8
dic	61441	17100	15390	46051	25,0
TOTALE	913408	326000	293400	620008	32,1

In tabella 46 vi è una differenza tra l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e quella effettivamente autoconsumata in quanto si è deciso di adottare in termini conservativi un fattore di correzione dell'autoconsumo pari a 0,9.

Si riporta nel grafico successivo il confronto mensile tra energia autoconsumata e acquistata da rete rispetto al fabbisogno totale.

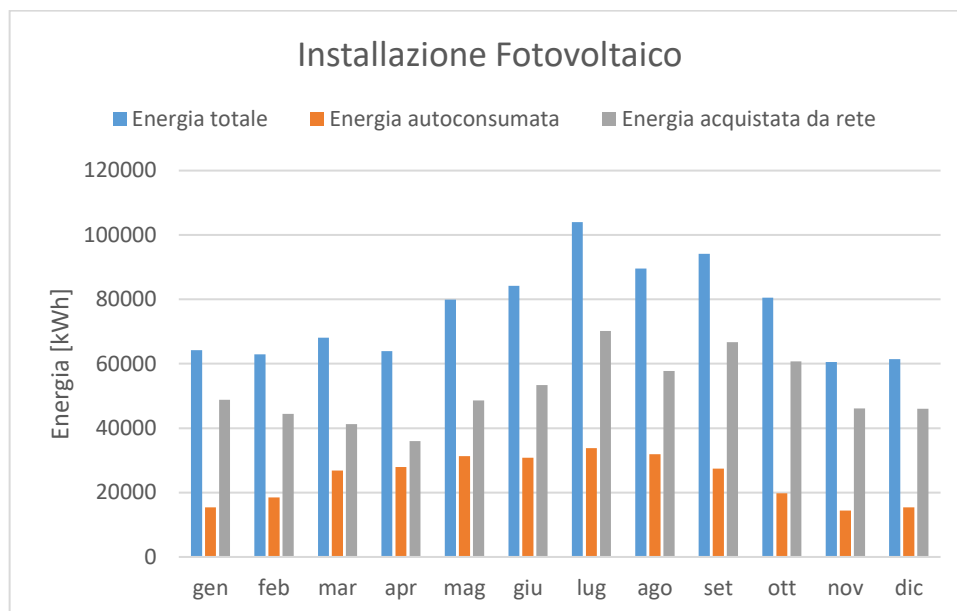


Figura 41. Confronto mensile tra energia elettrica acquistata e autoconsumata

Come evidenziato dai calcoli effettuati, con l'impianto ipotizzato è possibile coprire il 32,1 % del fabbisogno di energia elettrica dello stabilimento, evitando dunque l'acquisto di 293400 kWh di energia elettrica dalla rete e generando un corrispondente risparmio emissivo in quanto l'energia così risparmiata viene sostituita da energia elettrica generata da fonte rinnovabile.

Emissioni di GHG evitate

Analogamente a quanto visto prima, il significativo risparmio di energia elettrica da rete pari a 32,1 % va ridimensionato rispetto al peso relativo del consumo di energia elettrica sulle emissioni totali.

$$6,5 \% * 32,1\% = 2,1 \%$$

Ridurre del 32,1 % l'energia acquistata da rete significa ridurre solo del 2,1 % le emissioni di GHG totali dell'organizzazione.

4.4.3 Impianto fotovoltaico ed efficientamento energetico

È possibile combinare i due interventi precedentemente illustrati al fine di ottenere un impatto maggiore sulle emissioni di GHG dell'organizzazione.

Intervenire con entrambi i progetti significa infatti ridurre in modo significativo i consumi dello stabilimento (del 20 % appunto) e sostituire una buona parte dei consumi rimanenti con energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.

In tabella 47 sono riportati i risultati di una simile combinazione di interventi.

Tabella 47. Risparmio di energia elettrica prelevata dalla rete con impianto fotovoltaico ed efficientamento energetico

	ENERGIA NECESSARIA dopo EFFICIENTAMENTO	ENERGIA PRODOTTA	ENERGIA AUTOCONSUMATA	ENERGIA ACQUISTATA	RISPARMIO DI ENERGIA DALLA RETE
	kWh	kWh	kWh	kWh	%
gen	51324	17100	15390	35934	44,0
feb	50300	20500	18450	31850	49,4
mar	54470	29800	26820	27650	59,4
apr	51108	31000	27900	23208	63,7
mag	63897	34800	31320	32577	59,2
giu	67295	34200	30780	36515	56,6
lug	83167	37600	33840	49327	52,6
ago	71666	35400	31860	39806	55,6
set	75254	30500	27450	47804	49,2
ott	64402	22000	19800	44602	44,6
nov	48398	16000	14400	33998	43,8
dic	49132	17100	15390	33742	45,1
TOTALE	730413	326000	293400	437013	52,2

La combinazione degli interventi comporta la somma dei benefici di ciascuno dei due e genera un risparmio dell'energia acquistata dalla rete pari al 52,2 %.

Nel grafico seguente è riportato il confronto di una soluzione simile rispetto alla situazione iniziale.

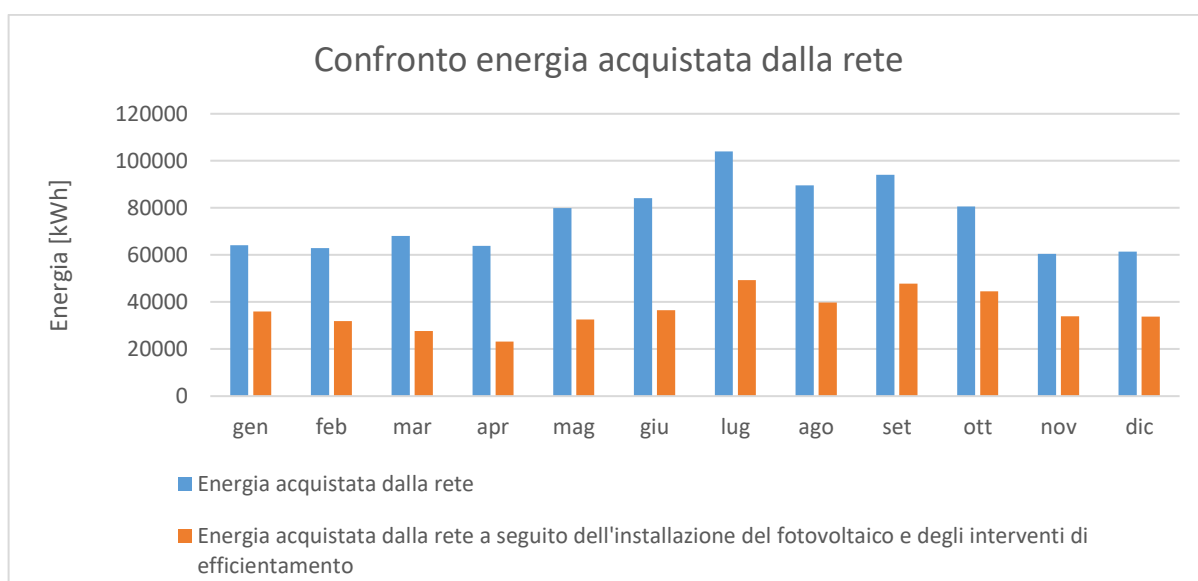


Figura 42. Confronto mensile tra l'energia elettrica acquistata prima e dopo gli interventi di efficientamento e dell'installazione dell'impianto fotovoltaico

Come già osservato in precedenza, un risparmio così significativo in termini energetici va comunque ridimensionato nel riportarlo al risparmio di emissioni di GHG totali:

$$6,5 \% * 52,1\% = 3,4 \%$$

Comporre l'efficientamento energetico all'installazione di un impianto fotovoltaico riducendo del 32,1 % l'energia acquistata da rete significa ridurre solo del 3,4 % le emissioni di GHG totali dell'organizzazione.

4.4.4 Modifica del mix energetico utilizzato

Gli approcci finora proposti rispetto al consumo di energia elettrica hanno sempre sottinteso che l'energia elettrica prelevata dalla rete comportasse emissioni di GHG secondo il fattore d'emissione indicato durante la costruzione dell'inventario dei GHG.

Vi è però la possibilità di stipulare contratti con i fornitori di energia elettrica specificando la percentuale di energia elettrica prelevata dalla rete che debba essere originata da fonti rinnovabili: si è verificato che esistano anche contratti di fornitura che garantiscono energia elettrica originata da un mix energetico composto al 100 % da fonti rinnovabili.

Affidarsi ad un simile contratto di fornitura annullerebbe dunque le emissioni di GHG rendicontabili all'azienda dovute al consumo di energia elettrica dalla rete.

Una riduzione del 100 % delle emissioni dovute al consumo di energia elettrica dalla rete produrrebbe una diminuzione rispetto alle emissioni totali dell'organizzazione pari al 6,5 %, la più alta sinora osservata.

Per trasparenza è necessario ribadire che, come visto nella definizione del fattore emissivo, la normativa ISO 14064-1 richiede esplicitamente riferimento al mix energetico medio nazionale: a rigor di normativa, dunque, questo tipo di intervento non potrebbe essere riconosciuto ma ciò non toglie che esso non abbia una valenza concreta.

4.4.5 Il riutilizzo della bottiglia di vetro: una soluzione meno energivora

Oltre all'analisi dei possibili interventi volti a ridurre le emissioni di GHG relativi ai consumi di energia elettrica, sono state prese in considerazione delle contromisure relative alla maggior sorgente di emissione di gas serra presente nel ciclo produttivo, ovvero il processo di confezionamento, responsabile del 71,3 % delle emissioni totali, con particolare riferimento alle emissioni dovute all'utilizzo di bottiglie di vetro (materiali per l'imbottigliamento) a cui sono imputabili il 37,0 % delle emissioni totali.

Le motivazioni alla base di un'impronta di carbonio così elevata collegata all'utilizzo delle bottiglie in vetro sono da ricercare nell'elevata densità energetica caratterizzante il settore industriale della produzione del vetro: effettuare interventi di efficientamento energetico sui processi produttivi dei materiali di imbottigliamento porterebbe significative, per quanto indirette, riduzioni al quantitativo di emissioni di GHG rendicontate nel processo di produzione delle bottiglie di vino e spumante.

Non avendo in questo contesto la possibilità di indagare tale possibilità, si è quindi approfondito l'eventuale impatto dovuto ad una riduzione del quantitativo di vetro e in generale dei materiali di confezionamento utilizzati.

Con la stima delle emissioni specifiche effettuata in precedenza è già stato evidenziato come l'utilizzo di formati di dimensioni maggiori possa ridurre in modo significativo le emissioni di gas serra a parità di quantitativo di vino o spumante prodotti: secondo le stime trovate, ad esempio, le emissioni di GHG dovute alla produzione di un litro di vino o spumante passano dal valore di 1,63 kg_{CO2,eq} per il classico formato da 0,75 litri al valore di 0,98 kg_{CO2,eq} per il formato da 1,5 litri: una riduzione pari al 40%.

Questo valore va però preso con cautela a causa delle approssimazioni introdotte nel procedimento di calcolo utilizzato.

Si è dunque ampliato il campo di indagine, rompendo le limitazioni imposte al ciclo di LCA ed approdando ad una prospettiva "cradle-to-grave", ricercando in letteratura analisi di interventi volti a ridurre le emissioni nel campo vinificazione.

La ricerca ha evidenziato numerose pubblicazioni di interesse caratterizzate dall'approccio dell'LCA applicato all'unità funzionale più comune nel settore ovvero la bottiglia da 0,75 l.

Il risparmio dovuto all'utilizzo di formati di dimensioni maggiori è stato indagato in diverse di queste pubblicazioni e in una in particolare si è proposto di sostituire la bottiglia in vetro con bag-in-box dai volumi maggiori (Ponstein et al., "How to increase sustainability in the Finnish wine supply chain? Insights from a country of origin based greenhouse gas emissions analysis") ottenendo significative risparmi da un punto di vista delle emissioni di GHG. Per quanto questa sia una soluzione in linea di massima concretizzabile, la si è ritenuta non adatta per il tipo di azienda studiata: i prodotti dell'azienda sono infatti destinati ad un mercato del vino e dello spumante esigente e caratterizzato da elevati standard enogastronomici; l'utilizzo del bag-in-box limiterebbe significativamente il commercio del prodotto.

Di maggior interesse e rilevanza ai fini della trattazione è l'analisi proposta da Ponstein et al., contenuta nel paper "Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine Production", nella quale viene approfondito il positivo impatto dovuto all'implementazione di un sistema di raccolta e riutilizzo delle bottiglie di vetro.

Il riutilizzo si pone come alternativa alla pratica decisamente ad oggi più diffusa del riciclo: il motivo per cui tale alternativa rappresenta una soluzione dalle minori emissioni di gas serra risiede nel fatto che il processo di riciclo, secondo le tecniche attuali, non possa prescindere da un utilizzo consistente di materia prima vergine (42,5 % della materia totale secondo Landi et al. nel paper "Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium") e comporti ancora elevati consumi di energia termica ed elettrica.

Nella pubblicazione di Landi et al. già citata, viene in particolare analizzato un sistema di riutilizzo delle bottiglie già esistente in Italia, nella provincia di Ascoli Piceno, associato ad un consorzio di produttori viticoli.

In figura 43, tratta dalla pubblicazione di Landi et al., si riportano le fasi di riutilizzo delle bottiglie a confronto con quelle necessarie al riciclo.

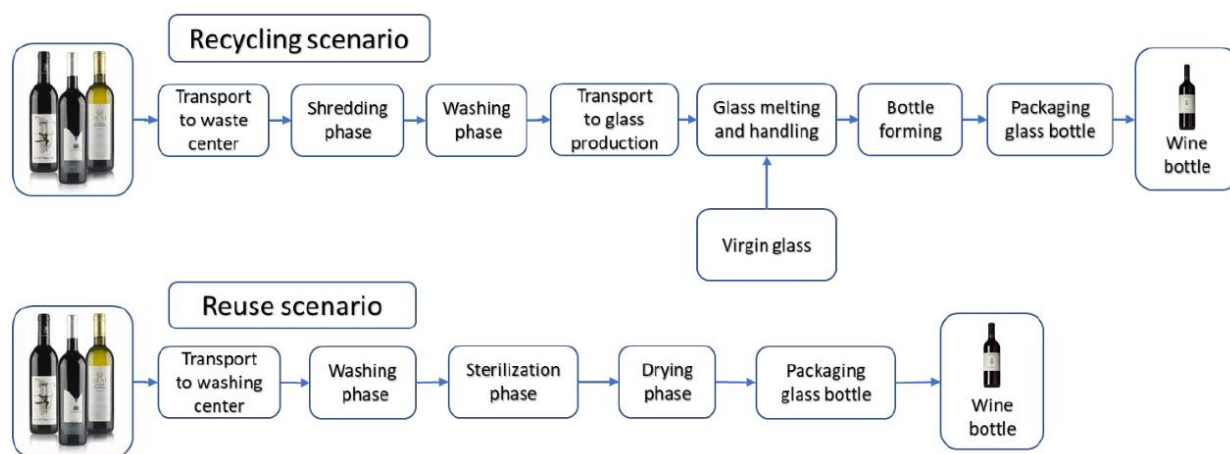


Figura 43. Processi di riciclo e riutilizzo della bottiglia di vino (Landi et al., "Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium")

Il paper di Ponstein et al., stima che la pratica del riutilizzo delle bottiglie possa condurre ad una potenziale riduzione del 36 % delle emissioni totali associabili ad una bottiglia di vino da 0,75 l, con una prospettiva ibrida "cradle-to-gate".

Nello stesso articolo si afferma che, dagli studi condotti su un ampio campione di bottiglie di vino prodotte, il processo di produzione industriale del vino contribuisce per l'81 % al valore della CFP, associando il rimanente 19 % alle fasi di coltivazione della materia prima.

È dunque possibile utilizzare questo dato per ridimensionare il valore della riduzione di emissioni riportandolo al contesto in cui è stato svolto il lavoro di tesi, ovvero una prospettiva “gate-to-gate”:

$$\frac{0,36}{0,81} = 0,444 = 44,4 \%$$

La percentuale di riduzione così ottenuta è già riferita all’intero ciclo di produzione di una bottiglia da 0,75 l di vino.

4.4.6 Efficacia degli interventi di riduzione delle emissioni di GHG proposti

Si riassumono nella tabella seguente i risultati ottenuti relativi alla riduzione, in termini percentuali, delle emissioni di GHG dovute alla produzione di una bottiglia di vino.

Tabella 48. Percentuali di riduzione delle emissioni di GHG dovute ai differenti interventi analizzati

EFFICACIA DEGLI INTERVENTI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI GHG	
TIPOLOGIA INTERVENTO	% RIDUZIONE
EFFICIENTAMENTO ENERGETICO	1,3
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	2,1
EFFICIENTAMENTO + PV	3,4
MIX ENERGETICO 100 % RINNOVABILE	6,5
RIUTILIZZO DELLE BOTTIGLIE	44,4

Come anche evidenziato dal grafico riportato in figura, l’intervento di gran lunga più efficace è quello rappresentato dall’implementazione di un sistema di riutilizzo delle bottiglie; tutti gli altri hanno il difetto di agire su una sorgente di emissioni, l’approvvigionamento di energia elettrica dalla rete, dall’impatto limitato sull’impronta totale di carbonio.

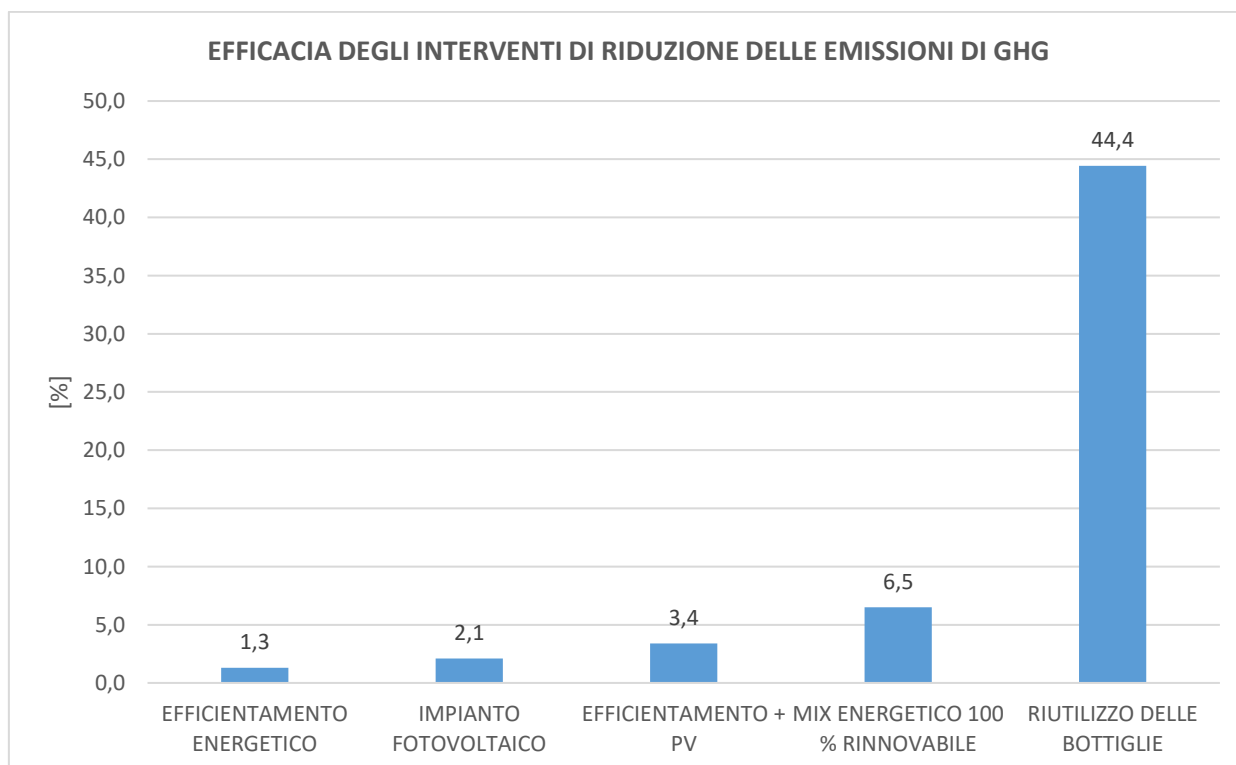


Figura 44. Confronto tra gli interventi di riduzione delle emissioni proposti

Le considerazioni sin qui fatte non necessariamente relegano i consumi di energia ad un ruolo di secondo piano nella lotta alle emissioni di gas serra: come già osservato, infatti, alla base del risparmio emissivo contenuto nel sistema di riutilizzo delle bottiglie vi è proprio la volontà di evitare gli alti consumi dovuti alla produzione delle bottiglie in vetro.

Per massimizzare l'effetto degli interventi di riduzione proposti è possibile immaginare di attuarne più di uno contemporaneamente, in modo da sommarne gli effetti.

La massima riduzione possibile, rispettosa delle linee guida fornite dalla normativa, è quella che prevede contemporaneamente gli interventi di efficientamento energetico, installazione di un impianto fotovoltaico e l'introduzione di un sistema di riutilizzo delle bottiglie.

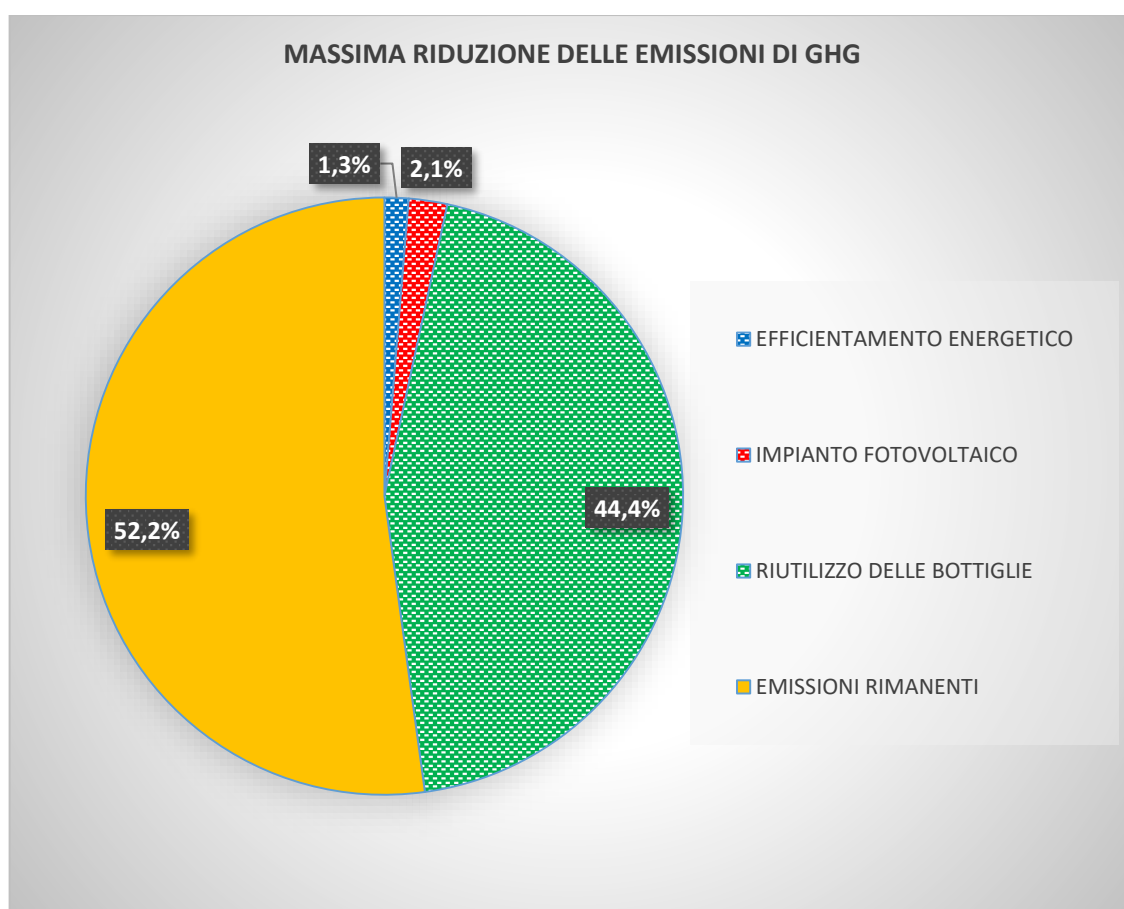


Figura 45. Massima possibilità di riduzione delle emissioni di GHG

Si ottiene così una significativa riduzione delle emissioni di gas serra introdotte in atmosfera, pari al 47,8 %.

Vi sarebbe anche la possibilità di valutare come efficace la sostituzione del mix energetico alla base della fornitura di energia elettrica con un mix composto completamente da fonti rinnovabili, nonostante, come già spiegato, la normativa richieda di considerare alla base dell'approvvigionamento di energia elettrica dalla rete il mix energetico medio nazionale.

Se si accetta l'eccezione, è possibile ottenere una riduzione percentuale delle riduzioni maggiore rispetto a quella pocanzi individuata:

In questo modo si ottiene una riduzione delle emissioni di gas serra superiore alla metà delle emissioni totali, pari al 50,9 %, come riportato in figura 46.

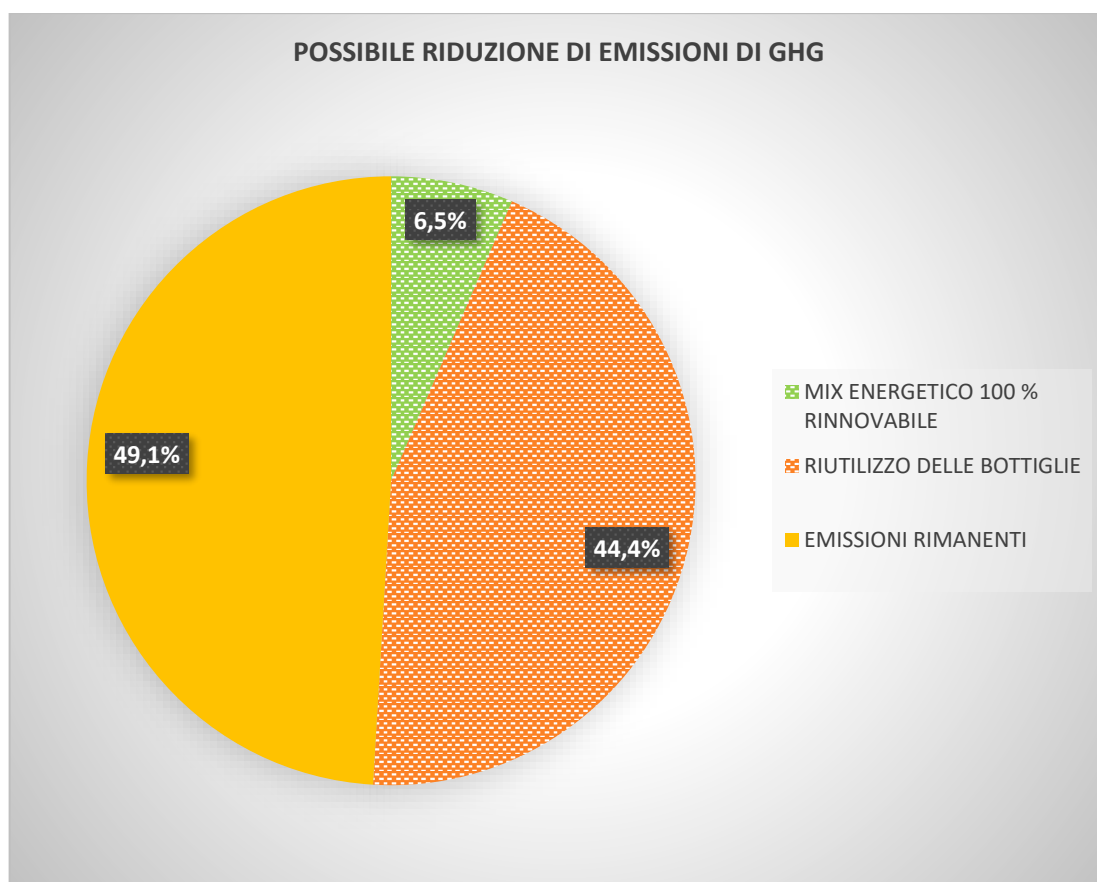


Figura 46. Possibilità di riduzione delle emissioni di GHG con utilizzo di mix energetico per l'energia elettrica 100% rinnovabile

Conclusioni

Il lavoro svolto

Il lavoro di tesi, dopo aver introdotto le problematiche legate al riscaldamento globale e le potenzialità della tecnologia blockchain, ha illustrato l'idea e i meccanismi alla base della struttura di una piattaforma il cui fine è quello di incentivare il commercio di prodotti e servizi caratterizzati da basse emissioni di gas serra, garantendo trasparenza e risonanza alle relative certificazioni energetiche ed ambientali e premiando i consumatori per l'acquisto di prodotti a bassa impronta emissiva con un'apposita valuta digitale, gli eco-token, da riscattare in favore di benefici economici.

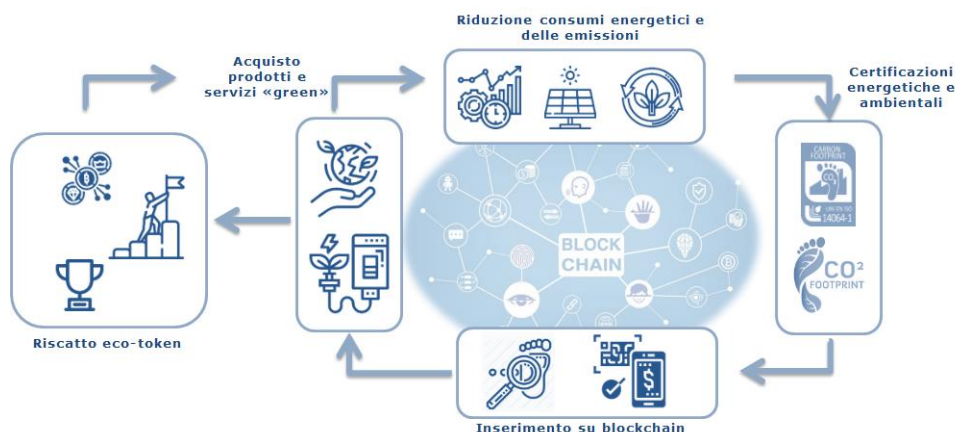


Figura 47. Schema di funzionamento della piattaforma blockchain.

L'approfondimento e l'analisi dei testi delle normative energetiche ed ambientali di riferimento (UNI EN ISO 50001, ISO 14064-1 e ISO 14067) ha permesso di simulare il processo di certificazione delle emissioni sui prodotti di un'azienda vinicola qui utilizzata come caso studio esemplificativo.

Utilizzando i dati e le informazioni messi a disposizione da Trigenia srl è stato costruito l'inventario dei GHG dell'azienda applicando le procedure suggerite dalla normativa ISO 14064-1. La composizione delle emissioni di GHG così modo rendicontate ha evidenziato il forte contributo all'emissione di gas serra legato all'utilizzo dei materiali di confezionamento.

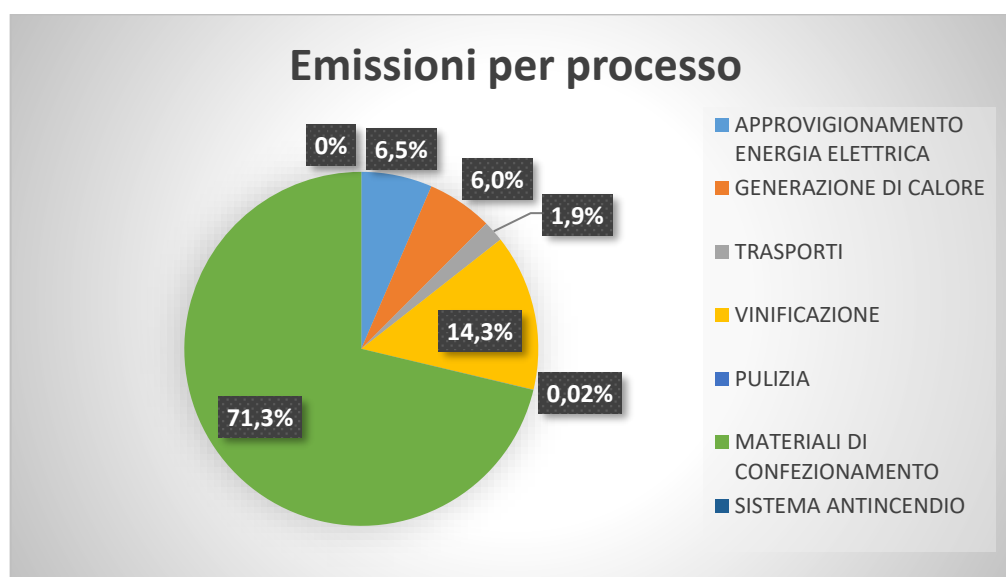


Figura 48. Composizione percentuale per processo delle emissioni di GHG totali

Successivamente è stata stimata l'impronta emissiva di differenti prodotti dell'organizzazione sfruttando i principi e le linee guida della normativa ISO 14067: sono state calcolate le emissioni specifiche relative ai differenti formati delle bottiglie di vino ed è stato evidenziato il minor impatto sulle emissioni di GHG legato ai formati di taglia maggiore.

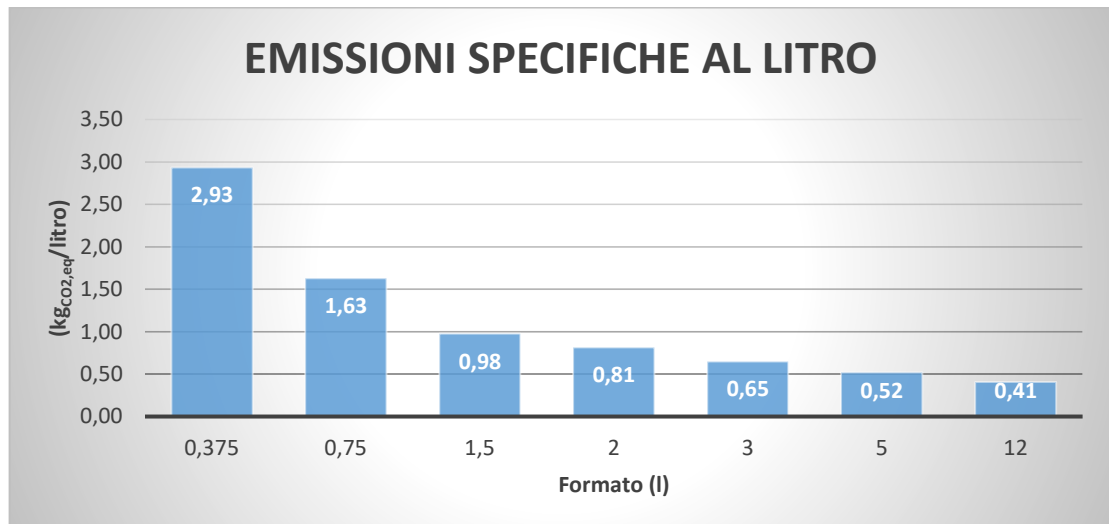


Figura 49. Confronto fra le emissioni specifiche rispetto ad un litro di vino prodotto dei differenti formati

A seguito di questi passaggi sono stati ipotizzati alcuni possibili interventi per la riduzione delle emissioni, con particolare attenzione alle possibilità di riduzione dei consumi energetici, e se ne è valutata l'efficacia: i risultati hanno confermato la limitata influenza diretta dei consumi energetici sul totale delle emissioni di gas serra dell'organizzazione, affermandone però la rilevanza con una prospettiva ad ampio raggio, riconoscendo nelle impronte emissive dei prodotti utilizzati dall'organizzazione un forte contributo legato all'intensità energetica del ciclo di produzione.

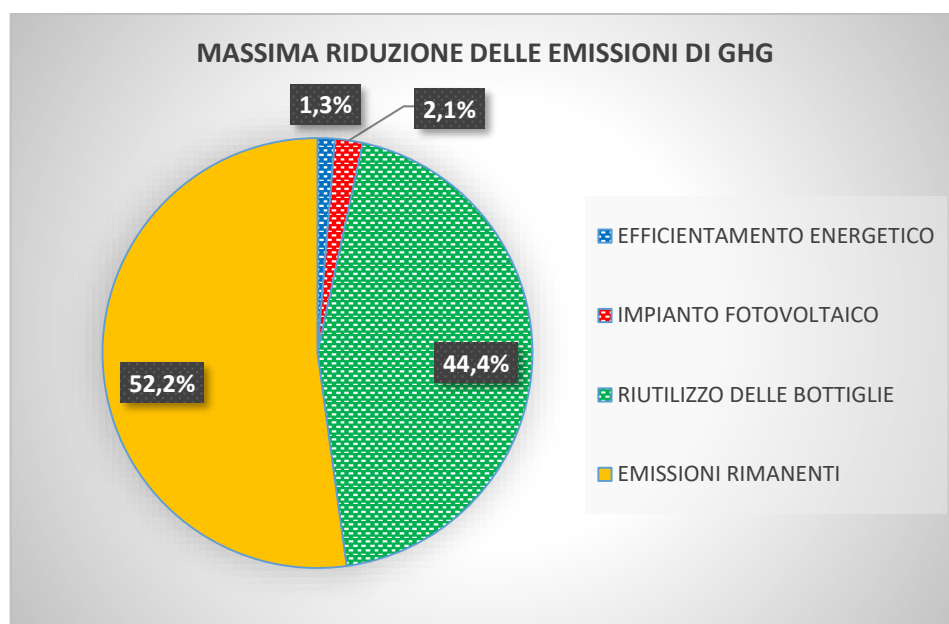


Figura 50. Massima possibilità di riduzione delle emissioni di GHG

Sviluppi futuri

Il lavoro di tesi svolto ha quindi evidenziato potenzialità e criticità di un eventuale sviluppo della piattaforma blockchain nelle sue fasi di certificazione delle emissioni di gas serra e valutazione di possibili interventi volti a ridurre l'entità, aumentando la comprensione delle metodologie e dei procedimenti che bisognerà adottare in caso di realizzazione della piattaforma.

Come più volte evidenziato lungo la trattazione, di importanza cruciale si è rivelata la fase di raccolta e organizzazione dei dati relativi ai processi produttivi e all'azienda analizzata: questa fase del processo di certificazione è sicuramente quella che richiederà maggiori approfondimenti. Sarebbe necessario infatti sviluppare un adeguato protocollo di raccolta dei dati che possa essere utilizzato tanto dal personale dell'azienda quanto dai consulenti a cui è affidata la certificazione in modo da snellire le operazioni di raccolta ed organizzazione dei dati garantendo un adeguato livello di precisione e accuratezza. Vista la grande varietà di organizzazioni e processi produttivi è impensabile progettare una rigida struttura di aggregazione dati da applicare a tutti i casi studio ma è verosimile immaginare una traccia di procedura da applicare alle singole situazioni in modo da sviluppare un sistema di gestione dei dati su misura dell'organizzazione interessata che possa essere riutilizzato negli anni successivi alla prima certificazione per ripetere la stessa.

Un ulteriore sviluppo della procedura dovrebbe essere l'ampliamento dei confini della LCA per la valutazione della CFP: l'obiettivo, peraltro definito dalla normativa ISO 14067, è quello di arrivare ad abbracciare la prospettiva "cradle-to-grave", contemplando l'intero ciclo di vita del prodotto studiato. Per farlo sarà necessario ampliare ulteriormente il bacino dei dati raccolti, premurandosi inoltre di avere accesso a adeguati e aggiornati valori dei fattori emissivi dei flussi di materia ed energia utilizzati e provenienti dall'esterno del processo: un'alternativa alla ricerca in letteratura di tali valori potrebbe essere l'utilizzo degli appositi software ad oggi impiegati per la valutazione della LCA nella sua accezione più generale e più adatti ad uno studio di CFP ripetuto sistematicamente. Uno dei software più famosi è SimaPro, utilizzato molto spesso in ambito accademico e frequentemente adottato dai team di ricerca autori degli articoli scientifici utilizzati come riferimento per lo studio di CFP svolto.

Parallelamente all'utilizzo dei software per LCA, potrebbe rappresentare un interessante sviluppo la possibilità di effettuare lo studio di CFP anche sui beni utilizzati nei processi produttivi acquistati da fornitori esterni ed utilizzare direttamente i valori così ottenuti a fini certificativi: questo permetterebbe alla piattaforma di certificare non solo il prodotto venduto al pubblico ma anche i flussi di materia che dall'esterno intervengono nel suo ciclo produttivo, aumentando la portata e la qualità della certificazione stessa. Si aprirebbero in questo modo scenari suggestivi nei quali la piattaforma blockchain possiederebbe anche le potenzialità di certificare agli occhi dei produttori l'impronta di carbonio dei beni acquistati dai fornitori, fornendo dunque a quest'ultimi la possibilità di ampliare il proprio bacino di clienti.

Una certa attenzione richiederà inoltre lo sviluppo della fase di progettazione degli interventi di riduzione delle emissioni a cui potrebbe giovare la procedura di certificazione secondo la ISO 14064-2, la normativa preposta alla costruzione dei "GHG project", ovvero i progetti finalizzati alla riduzione delle emissioni. In questo contesto vale la pena sottolineare le potenzialità offerte dalla piattaforma come rete di collegamento fra organizzazioni: per un progetto di riduzione ambizioso come quello del riutilizzo delle bottiglie illustrato nel caso studio, ad esempio, è fondamentale la collaborazione fra più produttori e l'appartenenza alla

piattaforma potrebbe facilitare in modo significativo l'instaurarsi di legami tra aziende volte alla realizzazione di simili pratiche.

Sono ancora molteplici gli aspetti da verificare e sviluppare prima di poter realizzare concretamente la piattaforma blockchain introdotta, non ultimi gli aspetti di natura maggiormente informatica e telematica, solo accennati in questo elaborato, e la definizione puntuale dei meccanismi di commercializzazione dei prodotti e dei riscatti di eco-token, argomenti non presenti nella trattazione in quanto inerenti ad una sfera economico-amministrativa non pertinente all'ambito del lavoro di tesi: risultano però chiare le potenzialità dell'idea proposta ed è ragionevole supporre che tutti i nodi ancora da sciogliere siano ostacoli superabili nella convinzione che il modello proposto rappresenti un approccio innovativo e virtuoso al mercato e alla lotta alle emissioni di gas serra in difesa del clima del nostro pianeta.

Bibliografia per capitoli

CAPITOLO 1. Consumi energetici globali ed emissioni di gas serra

- International Energy Outlook 2019
- IPCC - Climate Change 2014: Synthesis Report, Summary for Policymakers
- IPCC – Global Warming of 1.5 °C
- BP Statistical Review of World Energy 2019
- Our World In Data: <https://ourworldindata.org/>
- Center for Climate and Energy Solution: <https://www.c2es.org/>

CAPITOLO 2. Certificazione energetica tramite blockchain

- Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., McCallum P., Peacock A., Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews 100 (2019) 143-174
- “Blockchain” su wikipedia.org: <https://it.wikipedia.org/wiki/Blockchain>
- Blockchain for dummies, Manav Gupta, 2nd IBM Limited Edition, 2017
- “Funzione crittografica di hash” su wikipedia.org:
https://it.wikipedia.org/wiki/Funzione_crittografica_di_hash
- “Blockchain: cos’è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia”, Mario Bellini, consultabile al link <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-cosi-importante>

CAPITOLO 3. Normative di riferimento

- Mancò S., Gabriele P., Giaccone E., “Dispense del corso di Gestione dei Sistemi Energetici”, 2018
- ISO 14064-1, “Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals”, 2018
- ISO 14067, “Greenhouse gases - Carbon footprint of products: Requirements and guidelines for quantification”, 2018
- “Ciclo di Deming” su wikipedia.org: https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_di_Deming

CAPITOLO 4. CASO STUDIO: Un’azienda vinicola.

- The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, revised edition
- Methodological recommendations for accounting for ghg balance in the vitivinicultural sector, OIV, 2017
- Principi generali del protocollo OIV sul calcolo dei gas serra per il settore vitivinicolo, OIV, 2011

- Rapporto ISPRA 303/2019, “Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei”, <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/fattori-di-emissione-atmosferica-di-gas-a-effetto-serra-nel-settore-elettrico-nazionale-e-nei-principali-paesi-europei>
- Documento microsoft excel "Fattori di emissione per le sorgenti di combustione stazionaria in Italia", ISPRA, 2018, <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-le-sorgenti-di-combustione-stazionarie-in-italia/view>
- “Tabella parametri standard nazionale", ISPRA, 2018
- Valentina Corzani, Le aziende vitivinicole: da “machines à produire” a elementi di attrazione nel paesaggio. Proposte e criteri progettuali per l’efficienza funzionale e la qualità architettonica ed ambientale delle strutture ed infrastrutture della trasformazione enologica., Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, Università di Bologna
- Ridolfi A., Andreis D., Panzieri M., Ceccherini F., The application of environmental certification to the Province of Siena, Journal of Environmental Management 86 (2008) 390–395
- Ponstein H.J., Ghinoi S., Steiner B., How to increase sustainability in the Finnish wine supply chain? Insights from a country of origin based greenhouse gas emissions analysis, Journal of Cleaner Production 226 (2019) 768-780
- Ponstein H.J., Meyer-Aurich A., Prochnow A., Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine production, Journal of Cleaner Production 212 (2019) 800-809
- Landi D., Germani M., Marconi M., Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium, Procedia CIRP 80 (2019) 399-404

Ringraziamenti

Questa tesi rappresenta l'atto finale della mia carriera universitaria: si conclude qui un importante capitolo del mio percorso di vita, percorso che non avrei la forza di affrontare senza il sostegno e il calore delle persone intorno a me a cui devo un enorme grazie per avermi accompagnato sino a qui.

A Papà, Mamma, Pietro e Beatrice, per esserci sempre stati e non avermi mai fatto mancare il loro affetto. Non riesco ad immaginare una famiglia più presente e premurosa di loro;

A Lucia, il mio amore, per aver riempito di significato ogni passo del cammino, sopportando con enorme pazienza tutte le mie debolezze e condividendo le sofferenze e le gioie di tutti i giorni.

A Filippo e Andrea, coinquilini e compagni di avventura, per aver reso più leggeri e sopportabili i momenti di difficoltà.

All'Ingegnere Valeria Pellerey, di Trigenia srl, per i suoi consigli e il suo supporto senza i quali questa tesi non avrebbe visto la luce;

A tutti i parenti e gli amici, per tutte le battute, i sorrisi e gli abbracci condivisi in questi anni;

A tutti loro, un grazie di cuore.