



La sostenibilità e l'efficiamento energetico nelle strutture produttive in agricoltura

Autori

Rino Gubiani - Marco Bietresato

Università degli studi di Udine

Email: rino.gubiani@uniud.it

Bologna, 8 Novembre 2024

*Struttura
Seminario/Lezione*

LA SOSTENIBILITA'
IL CONSUMO DI ENERGIA IN
AGRICOLTURA
PROPOSTE PER L'EFFICIENTAMENTO
ENERGETICO
CONCLUSIONI

1 NO POVERTY
2 ZERO HUNGER
3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING
4 QUALITY EDUCATION
5 GENDER EQUALITY
6 CLEAN WATER AND SANITATION
7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY
8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH
9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE
10 REDUCED INEQUALITIES
11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES
12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION
13 CLIMATE ACTION
14 LIFE BELOW WATER
15 LIFE ON LAND
16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS
17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
[See all](#)

- ❑ In Italia la SAU è circa il 40% della superficie nazionale (12,6 milioni di ha)
- ❑ 50% seminativi
- ❑ 20% biologico
- ❑ 2,2 milioni di ha di boschi
- ❑ 3,7 milioni di ha sono in stato di abbandono

AGRICOLTURA SOSTENIBILE

L'obiettivo dell'agricoltura sostenibile è soddisfare il fabbisogno attuale di alimenti e tessuti senza compromettere la capacità da parte delle generazioni future di soddisfare a loro volta il proprio fabbisogno.

FAO, i 5 principi dell'agricoltura sostenibile:

- umentare la produttività**, l'occupazione e il **valore aggiunto nei sistemi alimentari: modificare le pratiche** e i processi agricoli garantendo i rifornimenti alimentari e riducendo allo stesso tempo i **consumi di acqua ed energia;**
- proteggere e migliorare le risorse naturali: favorire la conservazione dell'ambiente, **riducendo l'inquinamento delle fonti idriche**, la distruzione di habitat ed ecosistemi e il deterioramento dei suoli:
- migliorare i mezzi di sussistenza e favorire una crescita economica inclusiva;
- accrescere la resilienza di persone, comunità ed ecosistemi: trasformare i modelli produttivi in modo da minimizzare gli impatti che gli eventi estremi innescati dai cambiamenti climatici

Innovazione tecnologica e agricoltura 4.0

Un ruolo fondamentale nella strada verso la sostenibilità è svolto **dall'innovazione tecnologica** e dal ruolo della **meccanizzazione**.

La nuova frontiera si chiama **agricoltura smart o agricoltura 4.0**: **digitalizzazione**, geolocalizzazione, connessione in rete, Internet of Things.

Questi strumenti sono usati in particolare **nell'agricoltura di precisione**, che calibra le tecniche e le sostanze da usare in base alle caratteristiche dei singoli terreni e a un monitoraggio in tempo reale delle condizioni meteorologiche: una gestione efficiente che è in grado di ottimizzare la produzione minimizzando gli sprechi e gli impatti sul pianeta.

La meccanizzazione sostenibile in agricoltura

- sensori adatti (controllo distribuzione, analisi alimenti on board, ecc.)
- macchine che possono diventare automatiche (selezionatrici, es. uva, pomodori, ecc.);
- regolarsi automaticamente in base al prodotto (vendemmiatrici, mietitrebbie);
- guida automatica o assistita, parametri da adottare;
- software gestionali di macchine e operazioni;
- -ottimizzazione dei processi produttivi;
- Monitoraggi qualità vegetali;
- Elettrificazione.

Per esempio nel settore vitivinicolo gli obiettivi per la sostenibilità sono:

- le soluzioni architettoniche in relazione paesaggio;
- alta qualità e trasparenza nella produzione del vino;
- innovazione nell'impiantistica e nei macchinari;
- efficienza nell'uso dell'energia e delle risorse (carbon foot print, water foot print);
- inclusione ambientale sostenibile;
- sicurezza sul lavoro (81/08, sicurezza (OHSAS 18000));

Per esempio nel settore vitivinicolo gli obiettivi per la sostenibilità sono:

- progetto V.I.V.A.



AIR



Water

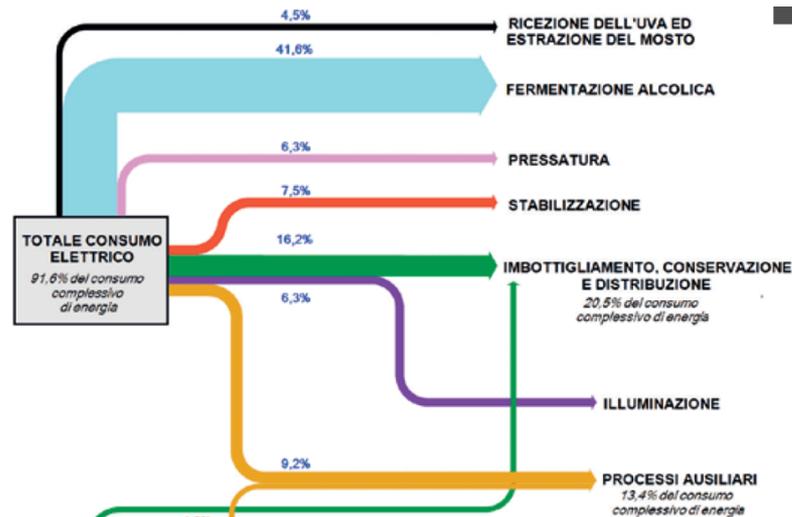


Vineyard

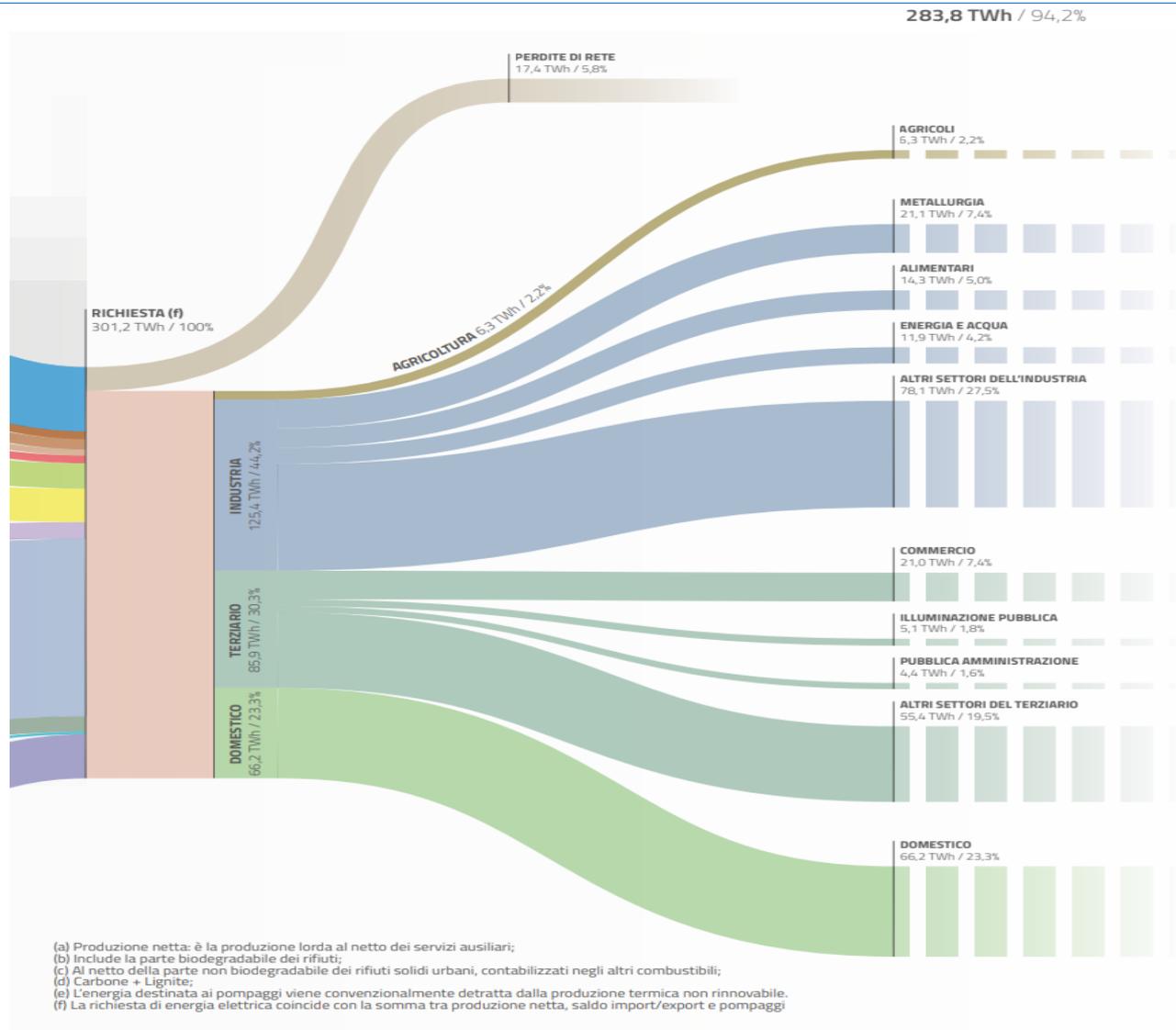


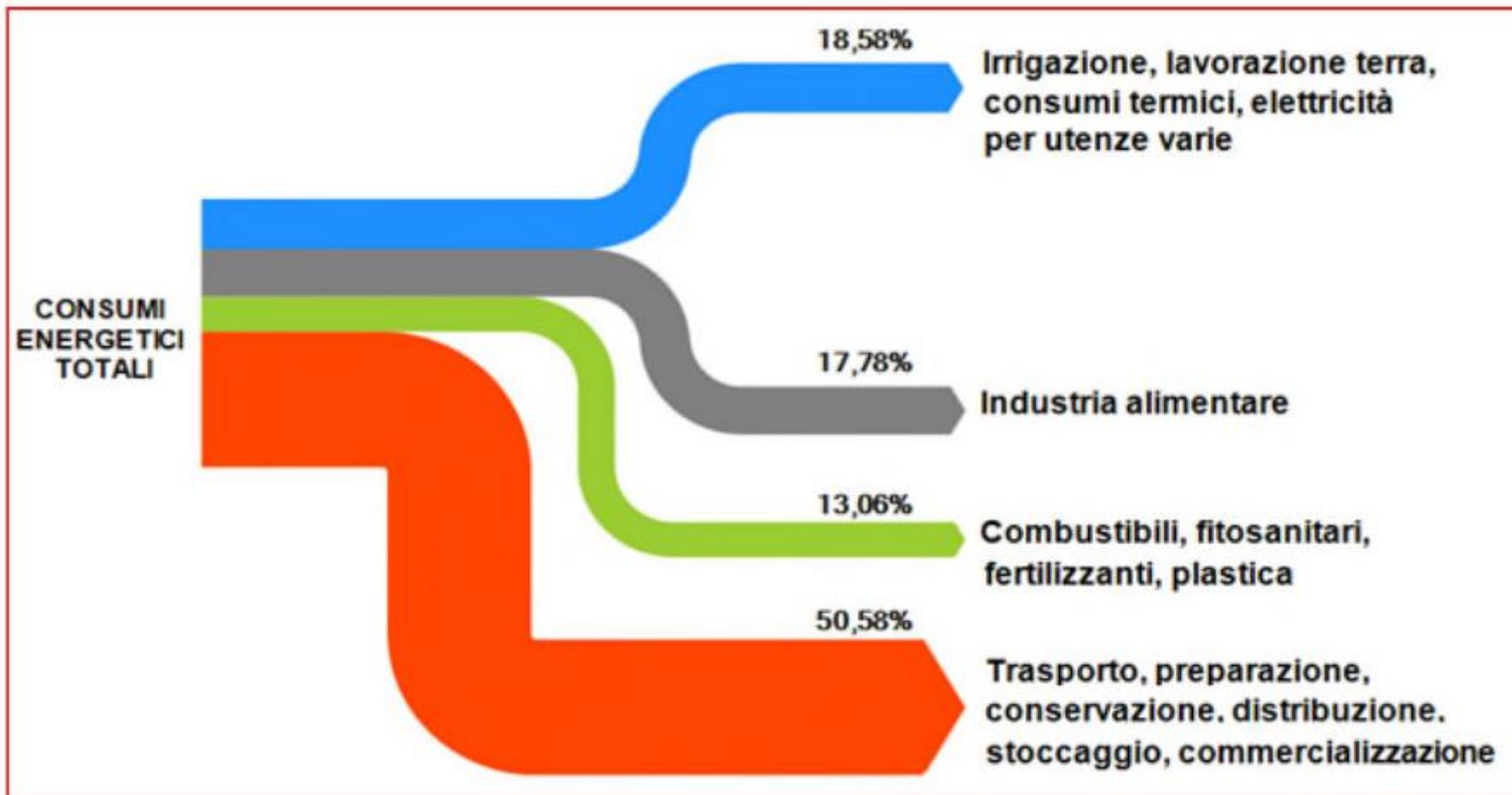
Country

- TESLA progetto



Il tema energetico





Fonte Enama

2.2 Settore Elettrico – Potenza e produzione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili nel 2020

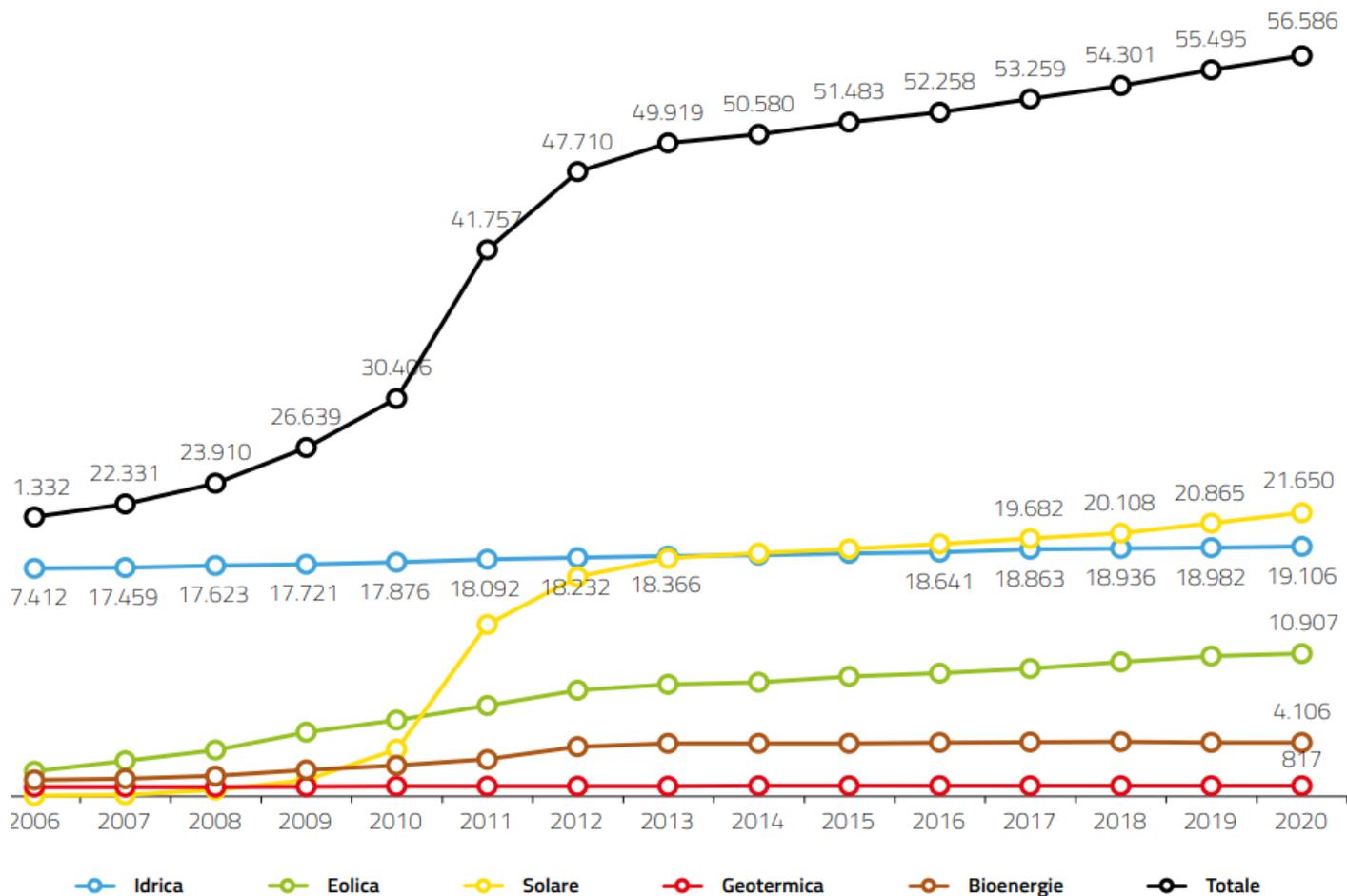
	Potenza efficiente lorda (MW)	Produzione lorda					
		effettiva			da Direttiva 2009/28/CE (*)		
		TWh	ktep	Var. % sul 2019	TWh	ktep	Var. % sul 2019
Idraulica	19.106	47,6	4.089	2,7%	48,0	4.126	2,0%
Eolica	10.907	18,8	1.613	-7,1%	19,8	1.706	3,6%
Solare	21.650	24,9	2.145	5,3%	24,9	2.145	5,3%
Geotermica	817	6,0	518	-0,8%	6,0	518	-0,8%
Bioenergie	4.106	19,6	1.688	0,4%	19,6	1.682	0,3%
– Biomasse solide (**)	1.688	6,8	585	2,9%	6,8	585	2,9%
– Biogas	1.452	8,2	702	-1,3%	8,2	702	-1,3%
– Bioliquidi	966	4,7	401	-0,2%	4,6	395	-0,4%
Totale	56.586	116,9	10.053	0,9%	118,4	10.176	2,5%

Fonte: per potenza e produzione effettiva: GSE per la fonte solare, Terna per le altre fonti; per la produzione da Direttiva 2009/28/CE: elaborazioni GSE su dati Terna e GSE.

(*) Produzioni idrica ed eolica normalizzate; contabilizzati i soli bioliquidi sostenibili.

(**) La voce comprende la frazione biodegradabile dei rifiuti solidi urbani.

Potenza installata degli impianti di produzione elettrica alimentati da FER (MW)



- Energia da biomasse agro-forestali (termica e cogenerazione)
- Biogas (allevamenti e biomasse)
- Energia eolica
- Energia idroelettrica
- Energia solare e fotovoltaica (agrivotovoltaico)
- Efficientamento energetico degli edifici
- Efficientamento energetico dei processi
- Geotermico orizzontale



NATURA

ENERGIA

Efficienza dell'involucro
Energia di processo
Efficienza complessiva

TERRA

Materiale da costruzione
Imballaggi e logistica
Gestione dei rifiuti

ACQUA

Progettazione del ciclo dell'acqua
Gestione delle risorse idriche

VITA

UOMO

Efficienza dell'involucro
Energia di processo
Efficienza complessiva

AMBIENTE

Qualità ambiente interno

AUTENTICITA'

Qualità del paesaggio
Materiali e prodotti locali

TRASPARENZA

QUALITA'

Qualità di progetto
Qualità di processo

COSTI

Costi e benefici
Costi di Gestione

COMUNICAZIONE

Sensibilizzazione
Coinvolgimento collaboratori

- ❖ La produzione di energia tramite pannelli fotovoltaici pieghevoli e richiudibili da applicare anche su vigneto, al posto di quelli fissi che risultano ormai obsoleti e difficilmente manutentabili.
- ❖ L'utilizzo di trattori e attrezzature agronomiche ad energia elettrica. Tale energia sarebbe prodotta totalmente all'interno dell'azienda agricola.
- ❖ coibentazione delle strutture (per ridurre la trasmittanza termica e la necessità energetica per il raffreddamento degli ambienti);
- ❖ pannelli fotovoltaici sul tetto, per alimentare le attrezzature meno energivore di azienda. Quando non viene utilizzata bisognerà prevedere dei sistemi di stoccaggio dell'energia che potrebbe essere usata per ricaricare i trattori di notte o altri usi;

- sistemi geotermico orizzontale con acqua, a pochi metri di profondità nel suolo che possa alimentare gruppi frigo (cantine, latterie);
- La presenza di una cella di raffrescamento alimentata col sistema fotovoltaico che permetterebbe il raffreddamento di uve, cantine, latterie.
- monitoraggio energetico in strutture produttive cantina. Alcuni serbatoi sono stati da noi già predisposti per questo;
- La gestione ottimizzata dei carichi di potenza nei processi al fine di minimizzare i consumi energetici mediante sistemi automatizzati;
- comunità energetica tra aziende ed altri partner limitrofi;





**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari,
Ambientali e Animali (DI4A)

Proposal for a methodology to analyse the operability of a wine production plant in terms of power demand



Marco Bietresato, Gellio Ciotti, Alessandro Zironi,
Roberto Zironi, Rino Gubiani

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group
marco.bietresato@uniud.it

22nd International Scientific Conference
"Engineering for Rural Development"
Jelgava, LATVIA, 24.-26.05.2023



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI INGEGNERIA AGRARIA





Introduzione: il settore vitivinicolo (1/3)

Settore strategico per l'UE, **forte crescita** in termini di visibilità, volume produttivo ma anche di consumo di energia



- Il rischio di sovrapporre nuove acquisizioni a un assetto esistente senza rimettere in discussione le scelte precedenti può portare a un aumento delle inefficienze.
- Le tecnologie e i consumi energetici sono fortemente correlati al tipo di vino prodotto.

*Italy, year 2021, values
(ref. Mediobanca, 2022)*

- Sales +14.2 %
- Basic wines +8.7%
- Premium wines +20.2%
- Sparkling wines +21.0%
- Still wines +12.4%

*Word, volume
export +4.4%*





Introduzione: il settore vitivinicolo (2/3)

- Consumo specifico di processo:
 - Italia: **0.20-0.35 kWh·L⁻¹**;
 - Inghilterra: **0.50 kWh·L⁻¹**
- Ripartizione energetica:
 - 10% di **risorse fossili** (ad esempio, gasolio e altri combustibili) per i processi termici
 - -70-80% di **elettricità**, ad esempio per il funzionamento di apparecchiature come pompe o presse, per l'illuminazione dei locali o per la refrigerazione del prodotto in diversi processi (il 45% è consumato per controllare i processi di fermentazione)



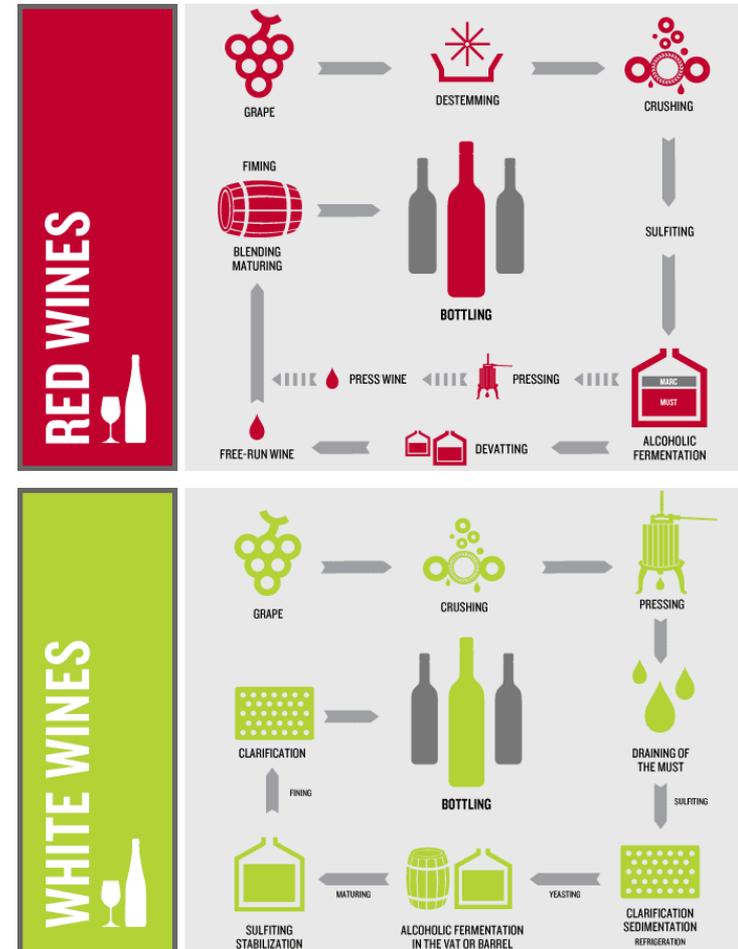


Introduzione: il settore vitivinicolo (3/3)

- Come mettere sotto controllo questi processi?
 - Molteplici fasi, diversi cicli di produzione, diversi prodotti finali.
 - Diversi livelli tecnologici / anzianità delle attrezzature
 - Produzione anche su periodi superiori all'anno (affinamento del vino)



- Il consumo di energia per unità di prodotto non è un parametro così significativo.



Introduzione: scopo di questo studio

- Tutti gli studi attuali mirano a ottenere una scomposizione dei consumi energetici, ma evidenziano la *manca*za di una *metodologia rapida da utilizzare in una fase preliminare*, prima dell'applicazione di qualsiasi scomposizione analitica dei consumi e dei costi.



- Obiettivo: illustrare una metodologia semplice e veloce per valutare i profili di consumo di una cantina e individuare, in prima istanza, alcuni punti di intervento e possibili azioni da intraprendere per impostare una tabella di marcia per aumentare l'efficienza energetica.

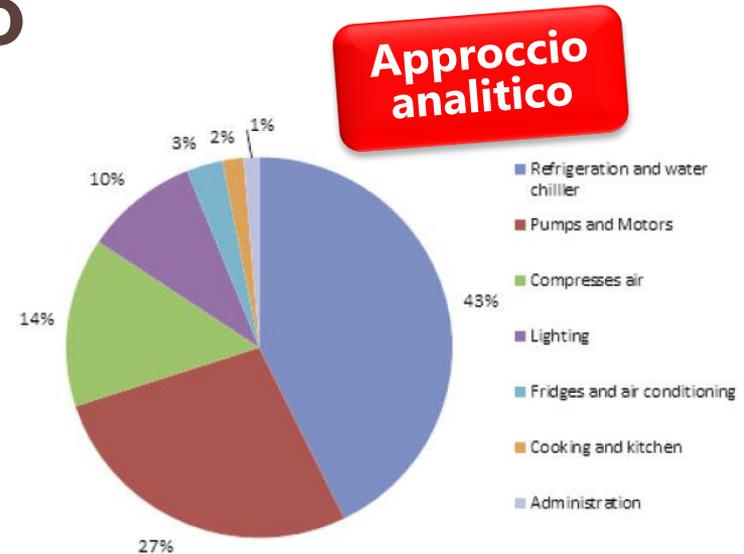
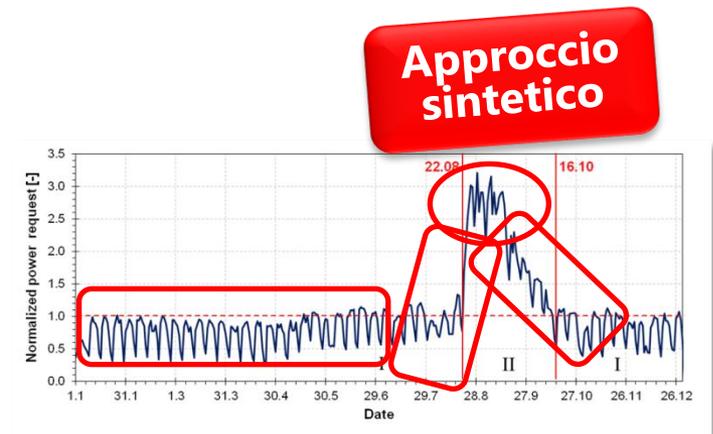


Figure 4: Typical winery energy consumption distribution.



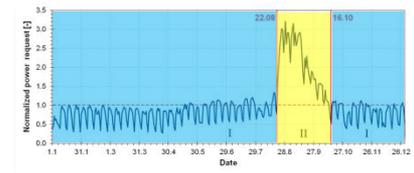
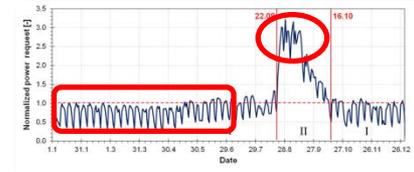
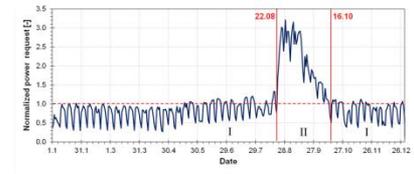
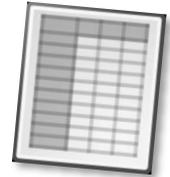
Approccio analitico

Approccio sintetico



Materiali e metodi: la metodologia proposta (1/2)

1. Acquisizione, dal gestore dei servizi energetici, dei dati di consumo elettrico, ogni quarto d'ora, relativi ad un periodo di rilevazione di un anno
2. Prima elaborazione dei dati per avere le richieste di potenza giornaliere-mensili-annuali, e formulazione di alcune considerazioni sull'andamento dei consumi su scala mensile-stagionale-annuale
3. Identificazione del picco massimo assoluto di domanda di energia elettrica su scala annuale, e del livello medio e minimo
4. Nel caso di richieste di energia elettrica con andamento stagionale, identificazione delle rampe ascendenti e discendenti del grafico della richiesta e suddivisione del grafico annuale in periodi di richieste di energia elettrica differenti (periodi ordinari, quindi con una richiesta costante e minima o "basale"; periodi straordinari, quindi con una richiesta superiore al minimo)

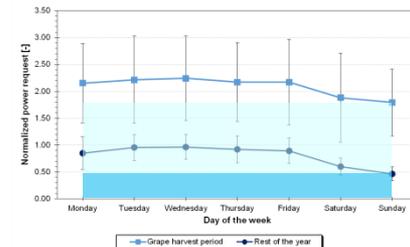
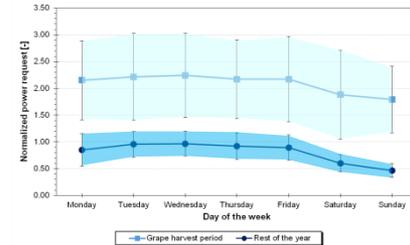




Materiali e metodi: la metodologia proposta (2/2)

5. seconda elaborazione dei dati per ottenere un consumo cumulativo giornaliero; per ciascuno dei periodi precedentemente identificati, calcolo del consumo medio di energia per giorno della settimana (livelli di consumo medio giornaliero di una settimana tipo)
6. identificazione, all'interno di ogni settimana tipo, delle richieste energetiche massime e minime e della durata dei periodi con una richiesta superiore alla linea di base

Le possibili variazioni climatiche di anno in anno (soprattutto in termini di temperatura ambiente), così come le possibili variazioni della massa di uva consegnata, hanno un'influenza diretta (proporzionale) sulla variazione della domanda di potenza, senza influenzare in modo significativo la morfologia complessiva della curva di richiesta di potenza, presentando comunque i due periodi sopra illustrati di richieste di potenza diverse.

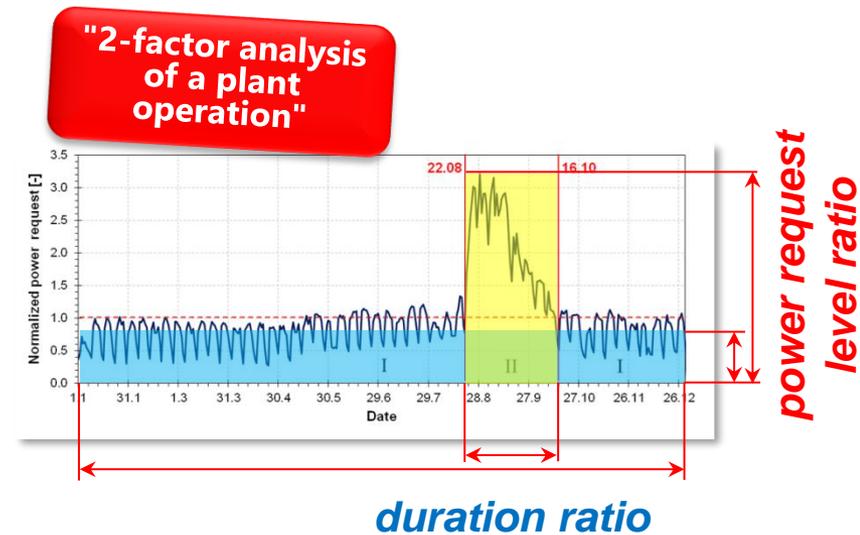


Materiali e metodi: metriche - definizione

È possibile individuare **due metriche** (→**KPI**) che fungono da parametri numerici riassuntivi dell'operatività di una generica azienda, riferiti sia alla scala temporale annuale sia a quella settimanale, ossia:



1. il "**power request level ratio**", ovvero il rapporto tra il massimo assoluto di richiesta di energia elettrica nel periodo straordinario e il livello medio di richiesta di energia elettrica nel periodo ordinario;
2. il "**duration ratio**", ossia il rapporto tra la durata totale del/i periodo/i con consumo superiore al livello base (periodi straordinari) e la durata del/i periodo/i con consumo ordinario.

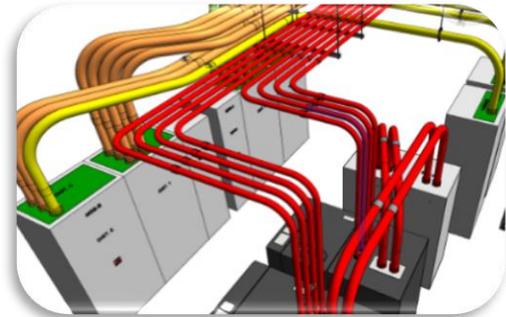




Materiali e metodi: metriche - possibilità

Grazie a questi due parametri, è possibile formulare alcune considerazioni su:

- l'eventuale sovradimensionamento delle linee di fornitura di energia effettuato in fase di installazione
→ *investimenti in impianti elettrici (e relativi sistemi di sicurezza)*
- -la potenza massima resa disponibile dal gestore della rete nazionale e riportata sul contratto
→ *determinazione del prezzo della fornitura di energia*

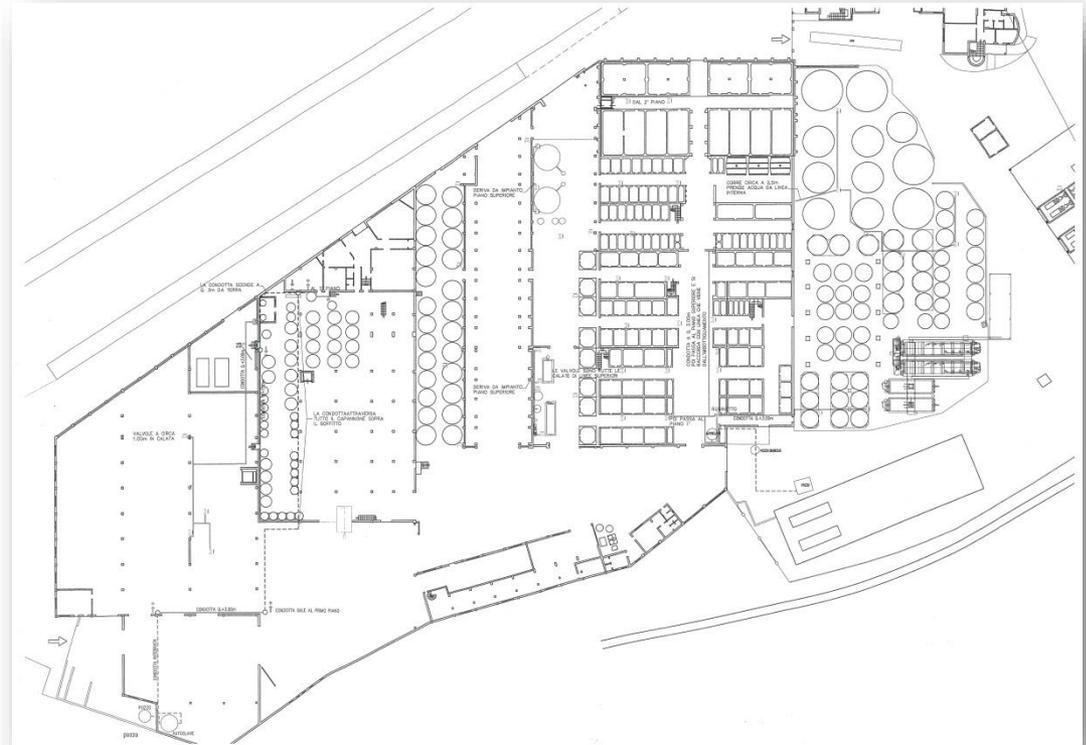




Risultati e discussione: applicazione ad un caso di studio

La metodologia è stata applicata ai dati di assorbimento di potenza di un impianto che fa parte di un'azienda vinicola industriale situata nel Nord-Est dell'Italia.

- Capacità produttiva annua: 24 milioni di bottiglie, principalmente di vino spumante bianco "*Prosecco*".
- Area conferente: circa 2000 ha (cioè 500 agricoltori)
- Superficie totale dell'impianto: più di 11000 m²





Risultati e discussione: grafici della domanda di potenza attiva

Grazie al^{2°} grafico (derivata prima), è possibile identificare:

- la data di inizio del periodo di aumento della domanda di energia elettrica
→ *22 agosto*
- la data di ritorno degli assorbimenti di energia elettrica al livello di base
→ *16 ottobre*





Ris. e Disc.: andamento annuale della domanda attuale di en. elettrica (1/5)

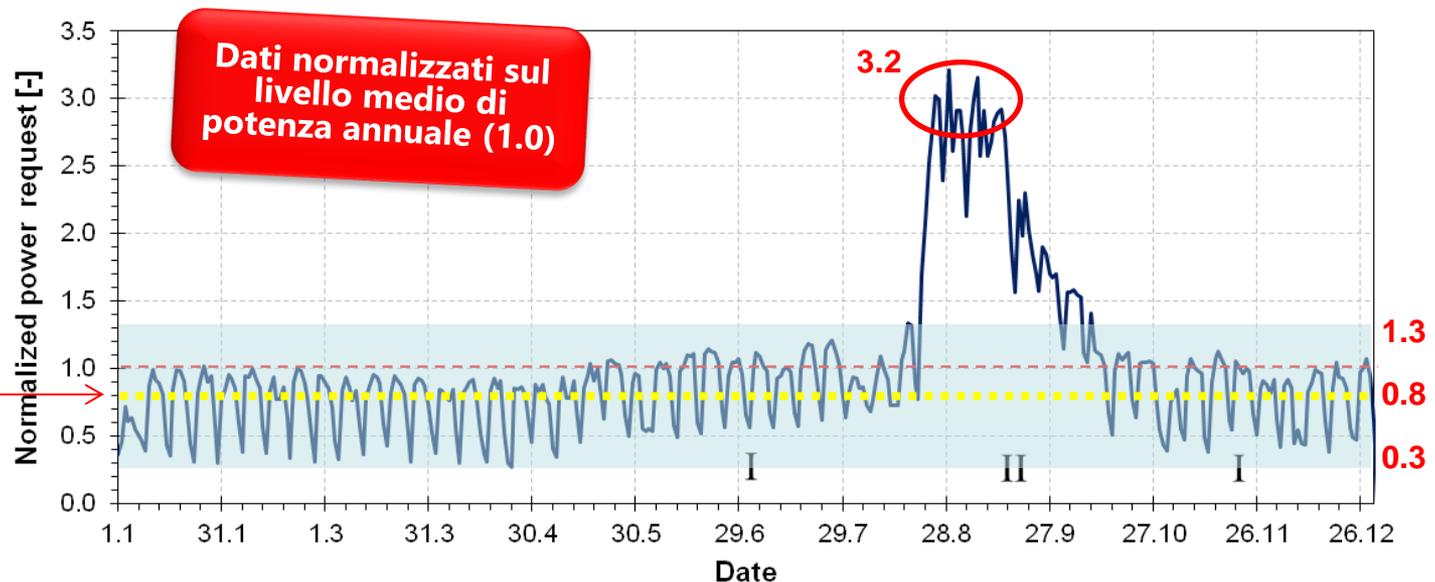
- L'anno è stato quindi diviso in due macro-periodi:
 - *I periodo - richieste di potenza ordinaria* dal 01.01 al 14.08 e dal 16.10 al 31.12 (per un totale di 44 settimane, ovvero l'84,6% dell'anno).
 - *II periodo - richieste straordinarie di potenza* esteso al resto dell'anno (per un totale di 8 settimane, ovvero il 15,4% dell'anno).





Ris. e Disc.: andamento annuale della domanda attuale di en. elettrica (2/5)

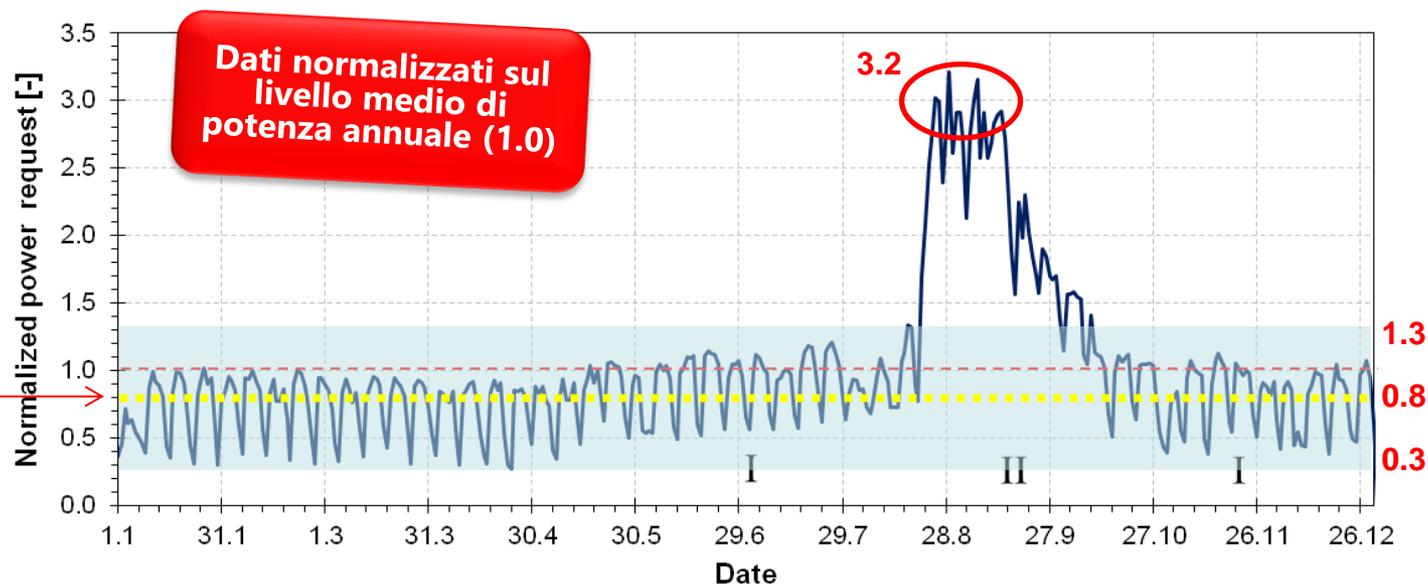
- Fabbisogno energetico ordinario (0.3-1.3):
 - non scende mai a zero → necessità della cantina di mantenere attivi alcuni servizi essenziali per l'impianto (es. unità di condizionamento caldo/freddo, pompe di ricircolo dell'acqua),
 - differenze minime nel corso dell'anno, dovute alle diverse temperature ambientali





Ris. e Disc.: andamento annuale della domanda attuale di en. elettrica (3/5)

- Richiesta di potenza massima (3.2): 4 volte superiore al valore medio del resto dell'anno (incremento: +300%); incremento unico nell'arco dell'anno (periodo di vendemmia: sett. ott. → periodicità annuale, come previsto)
- La presenza di tale picco agisce come un vincolo stringente e obbligatorio per il dimensionamento dei quadri elettrici e per l'indicazione del livello massimo di potenza disponibile da parte del fornitore di energia elettrica.

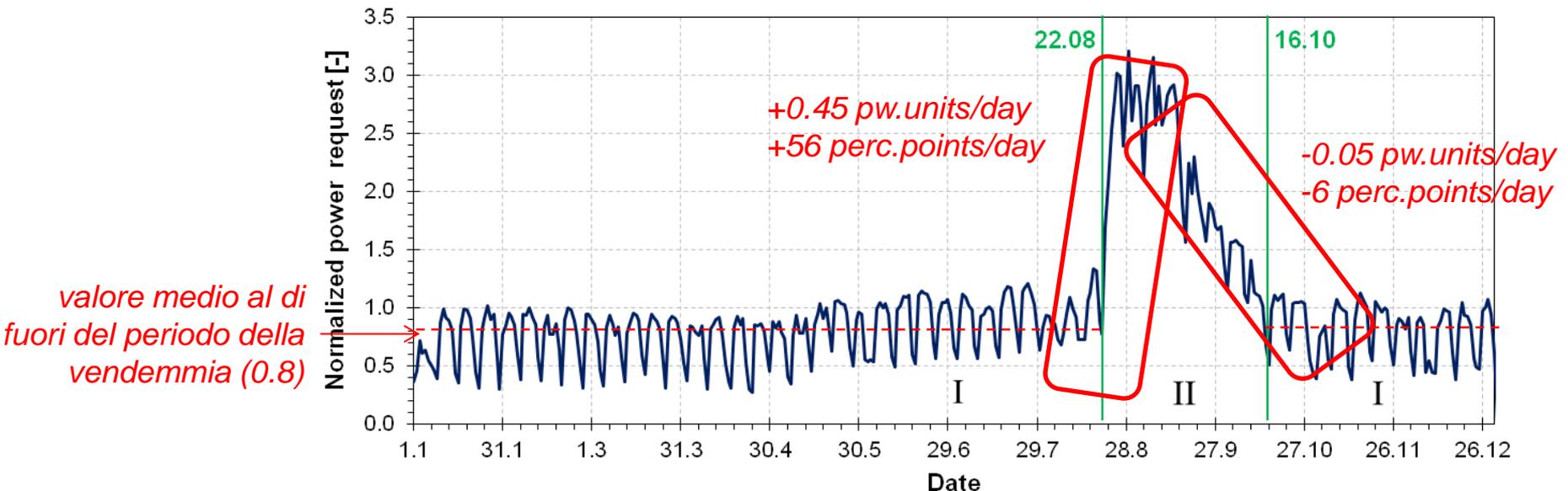




Ris. e Disc.: andamento annuale della domanda attuale di en. elettrica (4/5)

L'**andamento asimmetrico** della curva di assorbimento di potenza è tipico delle cantine industriali:

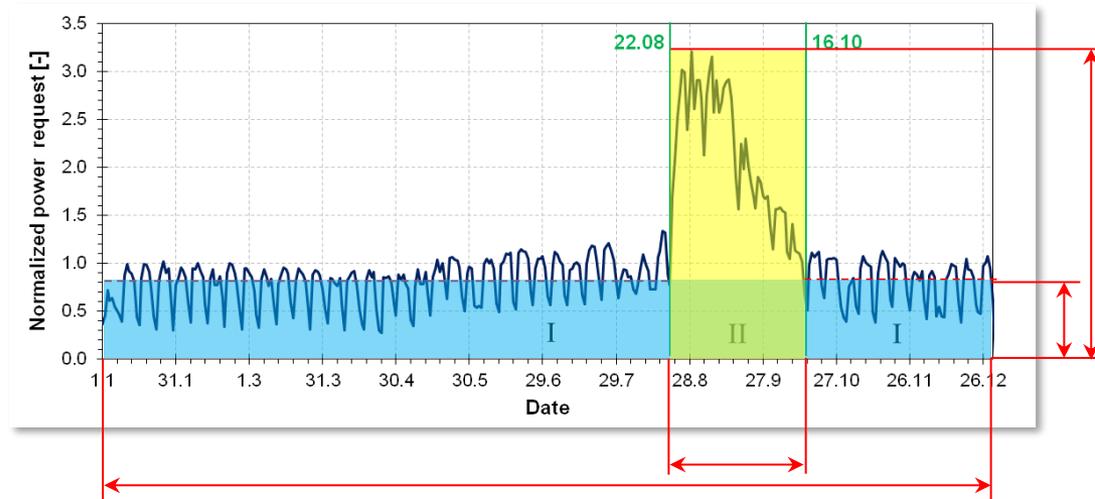
- forte incremento delle attività in corrispondenza dell'arrivo dei primi camion di uva
- graduale diminuzione della richiesta di energia elettrica





Ris. e Disc.: andamento annuale della domanda attuale di en. elettrica (5/5)

- *Duration ratio* (0.18), *power request level ratio* (4.00): il periodo di richiesta di potenza extra è piuttosto breve nell'arco di un anno, ma molto impegnativo dal punto di vista energetico.



duration ratio: $8/44 = 0.18$

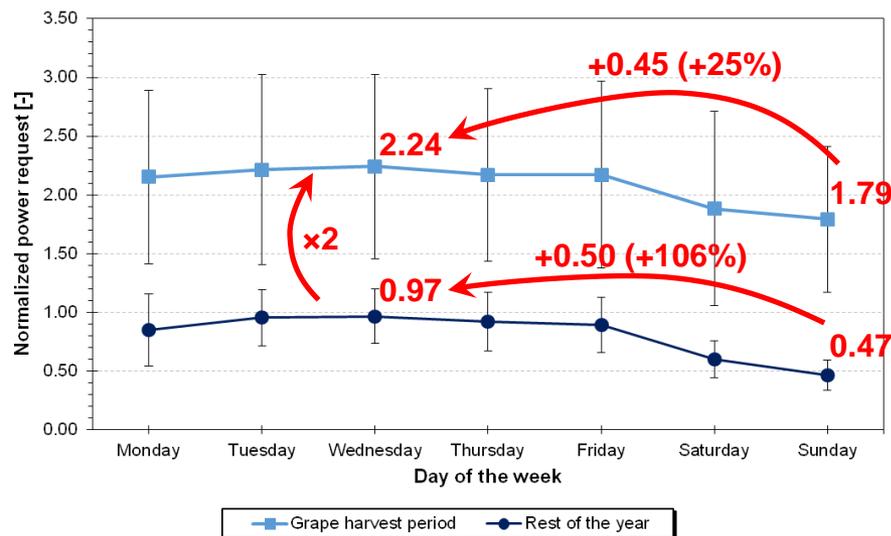
**power request level
ratio: $3.2/0.8 = 4.00$**

- Con questi indici, è giustificabile ricorrere anche a mezzi ausiliari mobili per soddisfare le maggiori esigenze.
- Infatti, a detta del personale della cantina, le unità di refrigerazione in container noleggiate per 2 mesi all'anno, corrispondenti al periodo di incremento della domanda di energia elettrica precedentemente identificato, vengono utilizzate per soddisfare tutte le richieste di fluidi termovettori a bassa temperatura (ad esempio, per la rimozione del calore originato dalle attività di fermentazione dei mosti).



Ris. e Disc.: richiesta di potenza media normalizzata settimanale (1/3)

- Le tendenze sono morfologicamente simili, anche se il divario tra giorni lavorativi e festivi è minore durante il periodo della vendemmia (+25% contro +106%).
- Durante il periodo della vendemmia, la domanda settimanale di energia elettrica è in media doppia rispetto al resto dell'anno ed è fortemente concentrata dal lunedì al venerdì (cioè nella settimana lavorativa).



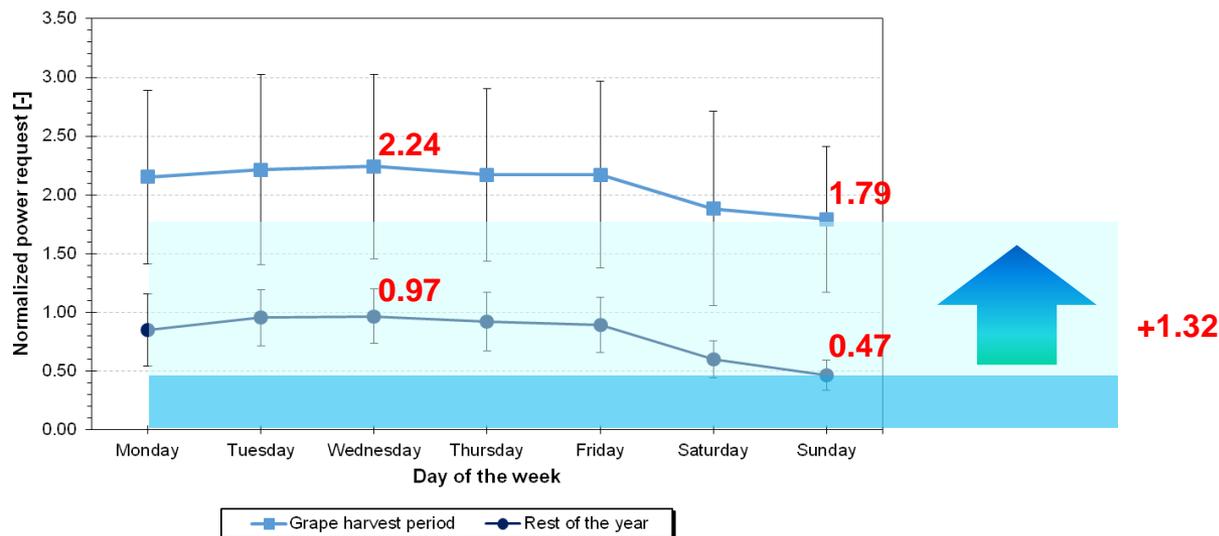
Error bars
corresponds to a
standard deviation



Ris. e Disc.: richiesta di potenza media normalizzata settimanale (2/3)

La somiglianza (= uguaglianza delle differenze minima-massima richiesta di potenza; 0.45 vs. 0.50):

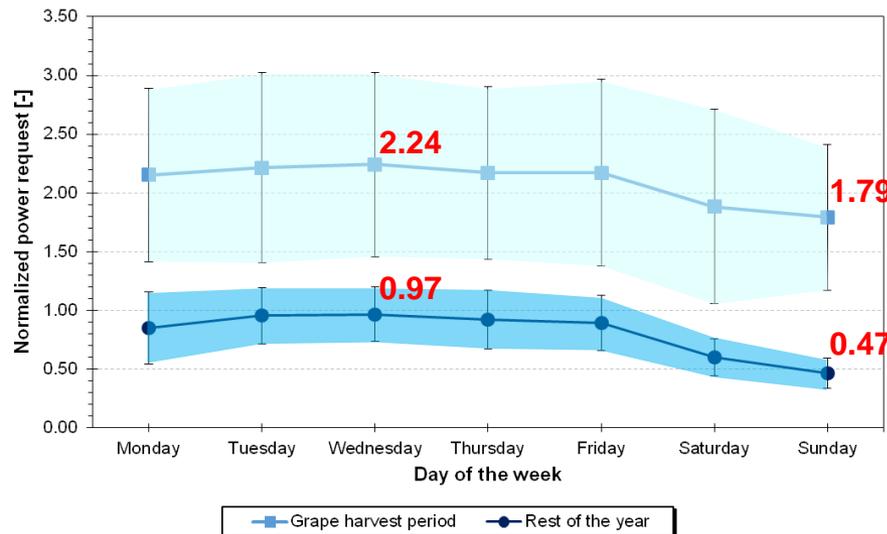
- significa che la differenza principale tra i due periodi di riferimento riguarda quasi esclusivamente il **livello di base delle richieste di potenza**, ben evidenziato dai valori di domenica (0.47 vs. 1.79, i.e. +1.32 normalized power units)
- È dovuto al funzionamento dei sistemi di condizionamento di molti fermentatori.





Ris. e Disc.: richiesta di potenza media normalizzata settimanale (3/3)

- Le barre degli errori sono indicative delle fluttuazioni degli assorbimenti di energia registrate giorno per giorno.
- Le fluttuazioni nel periodo della vendemmia sono più di 3 volte più ampie rispetto alle fluttuazioni relative al resto dell'anno. Questo è indicativo di problemi esistenti, ad esempio dovuti a una mancanza di pianificazione:
 - l'arrivo dei viticoltori o
 - l'attivazione dei macchinari, che operano in una sorta di stato di emergenza caratterizzato da frequenti periodi di coincidenza



3 volte più ampie

Le barre di errore corrispondono a una deviazione standard



Conclusioni (1/2)

- L'analisi a due fattori proposta per il funzionamento di un'azienda vinicola industriale:
 - è il primo passo di un **approccio più ampio** volto a caratterizzare puntualmente il comportamento del sito produttivo al fine di individuare le aree critiche, le cause sottostanti e le relative opportunità di miglioramento dal punto di vista impiantistico, tecnologico e di processo
 - a rivelato che **le richieste di energia si concentrano** in un periodo molto breve dell'anno (18%) e raggiungono un **livello molto alto** (4x)
- Sulla base di ciò, si può affermare che dovrebbero essere valutati alcuni interventi per, almeno, contenere l'aumento della richiesta di energia elettrica.



Conclusioni (2/2)

- Un aiuto per guidare l'intervento degli analisti a questo scopo potrebbe derivare, ad esempio, dall'analisi della **media normalizzata settimanale**.
 - l'aumento netto della richiesta di energia elettrica dovuta a tutte le attività legate al processo di vinificazione (+1,32 unità di potenza normalizzata, sostanzialmente costante in tutti i giorni della settimana), è difficilmente evitabile se non modificando il processo.
 - Un possibile punto di intervento potrebbe essere l'appiattimento dell'andamento settimanale (+0,45-0,50 unità di potenza normalizzata nella settimana lavorativa), attribuendo alcuni consumi al sabato e alla domenica, ad esempio prevedendo una diversa rotazione del personale.
 - Le maggiori fluttuazioni degli assorbimenti di energia elettrica giorno dopo giorno (più di 3 volte rispetto al periodo ordinario) hanno evidenziato alcuni problemi nella pianificazione delle attività legate alla vendemmia (es.: l'arrivo dei viticoltori, l'attivazione dei macchinari); sicuramente è necessario un periodo di monitoraggio direttamente sulla struttura per distinguere tra eventuali problemi organizzativi interni e problemi logistici per pianificare adeguate azioni correttive.



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e
Animali - Agri-Food, Environmental and Animal Sciences
Dept. (DI4A)

Thank you for your kind attention

Marco Bietresato

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group

marco.bietresato@uniud.it

*"Ars mechanica,
ars magnifica"
(Mechanical Engineering is a
marvelous form of art)*





**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari,
Ambientali e Animali (DI4A)

Definition of new technical-economic performance indicators to better monitor the production efficiency of wineries



Marco Bietresato, Gellio Ciotti, Alessandro Zironi,
Roberto Zironi, Rino Gubiani

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group
marco.bietresato@uniud.it

23rd International Scientific Conference
"Engineering for Rural Development"
Jelgava, LATVIA, 22.-24.05.2024



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI INGEGNERIA AGRARIA





Intr: un approccio universale per studiare un sistema produttivo (1/2)

- Sistema di produzione (SP):
"insieme organizzato di risorse, processi, personale e tecnologie che lavorano in modo collaborativo per produrre beni o fornire servizi" (Pinhanez C.).
- La complessità, la dimensione e la diffusione tecnologica di un SP possono variare significativamente a seconda del tipo di prodotto o servizio e del settore industriale.



Il processo di trasformazione è al centro del SP, dove gli input vengono convertiti in output.

Intr: un approccio universale per studiare un sistema produttivo (2/2)

- Con questa schematizzazione è possibile identificare i **flussi di materia/energia**:
 - inentrata/uscita dal SP

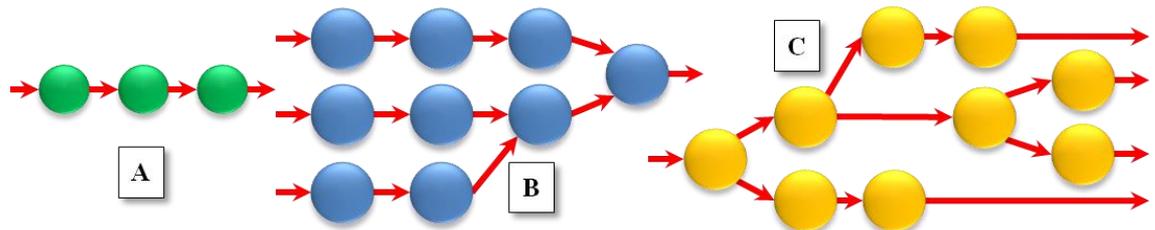


- all'interno del SP, che si uniscono o si allontanano dal **diagramma** che descrive la successione delle fasi che le materie prime seguono gradualmente per diventare prodotti finiti



*Maggiore
dettaglio*

Molti modelli di riferimento per il SP



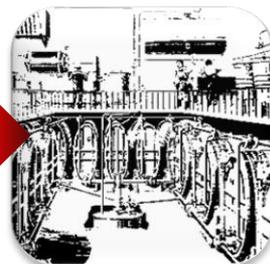


Introduzione: schematizzazione del SP di un'azienda vitivinicola (1/2)

Ambito di interesse

- SP: insieme coordinato di processi, tecniche, risorse, tecnologie utilizzate per la produzione del vino, dalla coltivazione della vite all'imbottigliamento del vino.
 - processo chimico-fisico di trasformazione dell'uva in vino, che prevede fasi di pigiatura, fermentazione, chiarificazione, stabilizzazione e maturazione.
- Numerosi tipi di **input** (ad es. uva, mosto, energia, materiali ausiliari, ecc.) e **output** (ad es. vino sfuso, vino imbottigliato, materiali di scarto, calore, ecc.)

Aux. m.: starter yeasts, diatomaceous earth (kieselguhr), flocculants, stabilisers (sulphur dioxide), sugar, wood chips, ethyl alcohol, activated carbon, glass bottles



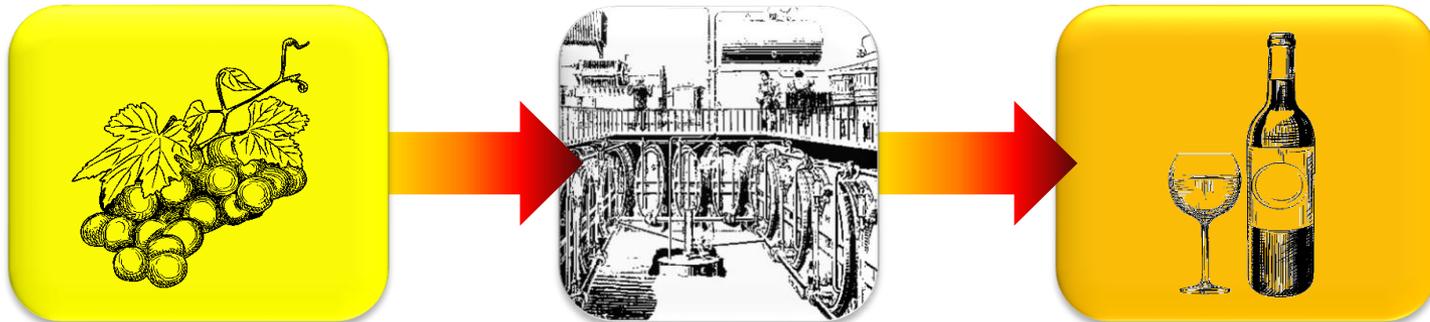
Waste m.: remaining after the processes, and third-party materials functional to the technological cycle: stalks, grape seeds, skins, fossil flours, lees.



Introduzione: schematizzazione del SP di un'azienda vitivinicola (2/2)

Ambito di interesse

- La comprensione di **dove e quando l'energia è richiesta** e **come viene utilizzata** è un'attività critica per identificare le opportunità di ridurre l'uso di energia e implementare pratiche più sostenibili.
- Per questo motivo → Indicatori di prestazione energetica (EnPI), in particolare il *consumo specifico di energia* (SEC, in kWh/hL di vino prodotto)





Introduzione: scopo di questo studio

Punto di partenza

analisi dei materiali in ingresso/uscita in relazione al processo produttivo principale



L'analisi degli indicatori di prestazione energetica (EnPI), (incluso il SEC), emerge come strategia chiave per la valutazione e il monitoraggio delle prestazioni energetiche delle aziende vinicole nel tempo.

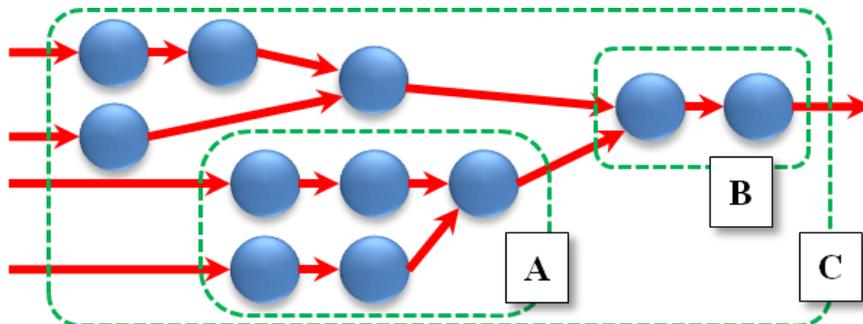
1. Definizione di alcune tipologie di aziende vitivinicole di riferimento
2. Indagine teorica su quali/quantissimi possibili indicatori operativi potrebbero essere definiti per un'azienda coinvolta a vario titolo nella produzione di vino.





MM: la superficie di controllo

- **Superficie virtuale:** isola alcune fasi del processo (e macchine), evidenziando i flussi di I/O.
- L'intero ciclo di trasformazione non deve necessariamente essere svolto da un'unica azienda.
- Alcune aziende, per motivi tecnici (es. disponibilità di tecnologie, volumi/quantità lavorate) o economici/territoriali (è più conveniente effettuare le trasformazioni finali in aree dove ciò può distinguere il prodotto), effettuano solo alcune trasformazioni



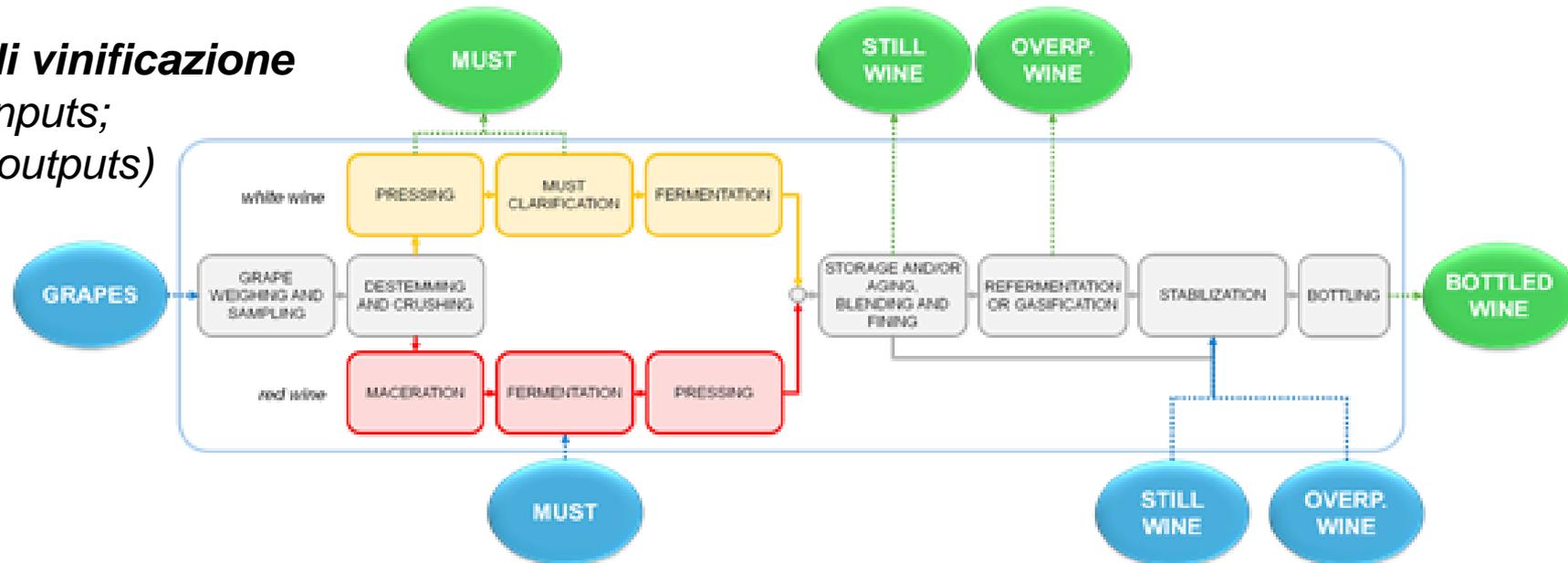
A: B2B company, selling semi-finished products to other companies;
B: B2C company performing only the final phases of the whole process;
C: B2C company performing the whole processing cycle

RD: utilizzo degli I/O per individuare tutte le possibili aziende sul mercato (1/2)

- Con riferimento ai diversi I/O (o "fattori produttivi") possibili nel ciclo di vinificazione in rosso/bianco, vi sono:
 - **4 possibili prodotti in input products** (I_1 = uva, in q; I_2 = mosto, in hL; I_3 = vino fermo, in hL; I_4 = vino in sovrappressione, in hL)
 - **4 possibili prodotti in output** (O_1 = mosto, in hL; O_2 = vino fermo sfuso, in hL, O_3 = vino sfuso in sovrappressione in hL, O_4 = vino imbottigliato in hL).

Ciclo di vinificazione

(blue: inputs;
green: outputs)





RD: utilizzo degli I/O per individuare tutte le possibili aziende sul mercato (2/2)

- Formula di riferimento del calcolo combinatorio per calcolare il numero di "**combinazioni di n oggetti (qui: fattori I o O) presi k alla volta senza ripetizione**".
- Se una generica azienda può avere indifferentemente **da 1 a 4 ingressi e da 1 a 4 uscite**, matematicamente parlando, è possibile avere un totale di **225** possibilità teoriche
- Non tutte le possibili combinazioni di I/O sono realmente presenti sul mercato; in particolare,
 - solo **7 di esse** sono realmente presenti sul mercato
 - Questo numero può salire a **11** se si considerano anche i due processi alternativi per la creazione di un vino spumante (rifermentazione, in autoclave o in bottiglia, aggiunta di gas).

$$C_{n,k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$





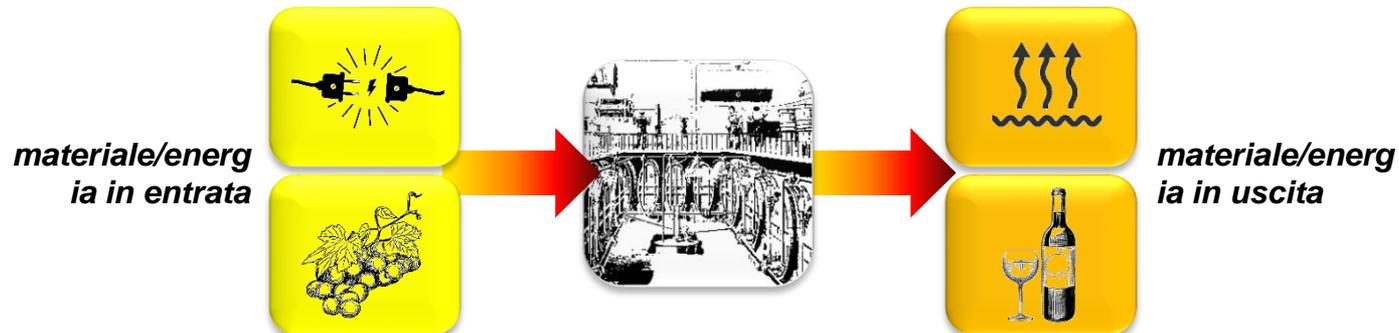
RD: quantificazione della bontà delle trasformazioni

- Un "**coefficiente standard**" (SC) mette in relazione una coppia di grandezze in ingresso e in uscita (con o senza le stesse dimensioni fisiche); è un *rapporto* tra le quantità assolute di **materiale/energia in ingresso** (I_i) e di **materiale/energia in uscita** (O_j), riferito a un intervallo di tempo Δt di interesse.

$$SC_{abs} = \frac{Output}{Input} \Big|_{\Delta t} \quad or \quad SC_{abs} = \frac{Input}{Output} \Big|_{\Delta t}$$

"quanto output si ottiene da un dato input", "quanto input è necessario per ottenere un determinato output".

- Relativo alla bontà delle trasformazioni; può essere considerato un key performance indicator (KPI)





RD: utilizzo dei coefficienti standard per definire gli indicatori di prestazione (1/2)

- Con i quattro input sopra indicati (n=4) e i quattro output sopra indicati (m=4) per un'azienda vitivinicola è possibile definire:

- **4x4x2=32 SC_{abs} “semplici”**, cioè che mettono in relazione un singolo ingresso con una singola uscita

$$SC_{abs} = f(Input_i, Output_j)_{\Delta t} = \frac{Output_j}{Input_i} \Bigg|_{\Delta t} = \frac{O_j}{I_i} \Bigg|_{\Delta t} \quad \begin{cases} 1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m \end{cases}$$

- **104x2=208 SC_{abs} “compositi”** se si tiene conto che le sommatorie possono includere:

- *uno, due, tre o quattro termini per quanto riguarda le uscite*, in quanto sono tutte dimensionalmente omogenee (infatti, sono tutte espresse in hL);
- *uno, due o tre termini per quanto riguarda gli ingressi espressi in hL* (I_2, I_3, I_4), o *alternativamente, un solo termine se l'ingresso considerato è uva* (I_1), espresso in q.

$$SC_{abs} = f(Input_i, Output_j)_{\Delta t} = \frac{\sum_j Output_j}{\sum_i Input_i} \Bigg|_{\Delta t} = \frac{\sum_j O_j}{\sum_i I_i} \Bigg|_{\Delta t} \quad \begin{cases} 1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m \end{cases}$$



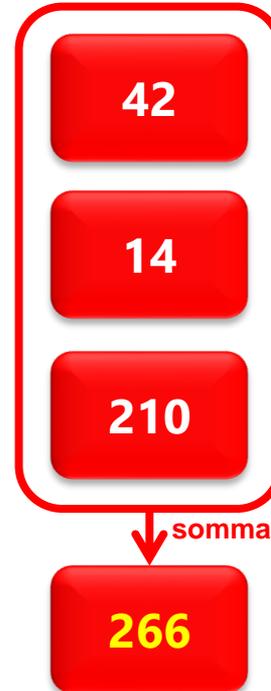


RD: utilizzo dei coefficienti standard per definire gli indicatori di prestazione (2/2)

- È anche possibile definire alcuni SC_{abs} utilizzando **solo gli ingressi o solo le uscite**, ottenendo così altri $42+14+210=266$ SC_{abs} possibili.

$$SC_{abs} = \frac{Input_j}{Input_i} \Big|_{\Delta t} \quad or \quad SC_{abs} = \frac{Output_j}{Output_i} \Big|_{\Delta t}$$

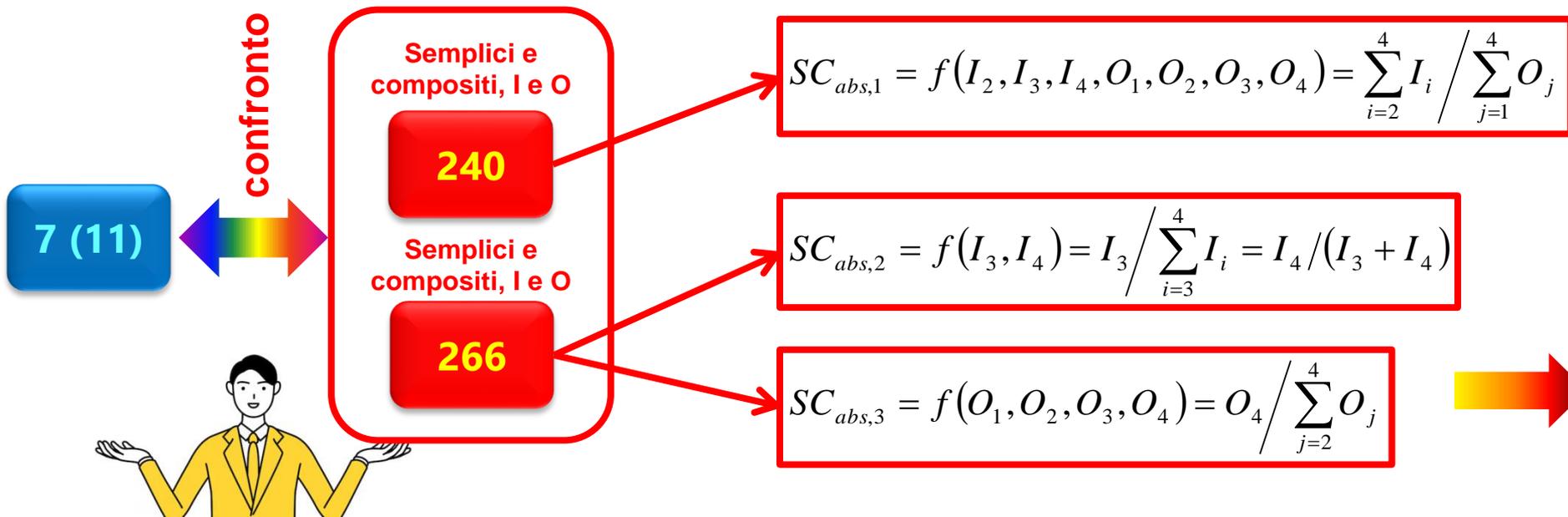
- per gli SC_{abs} che utilizzano solo termini **dall'insieme di input**, è necessario distinguere tra
 - **42** SC_{abs} che utilizzano solo I_2, I_3, I_4 (con somme fino a 3 termini al numeratore o al denominatore)
 - **14** SC_{abs} che hanno solo I_1 al numeratore o al denominatore e che hanno rispettivamente somme fino a 3 termini (con solo I_2, I_3, I_4) al denominatore o al numeratore;
- for SC_{abs} che utilizzano solo termini **dell'insieme di uscita**, ci possono essere fino a quattro termini al numeratore o al denominatore (per un totale di altri **210** SC_{abs} , escluse le combinazioni $4+6+4$ con termini $1/1, 2/2$ e $3/3$ che sono uguali).





RD: proposta di 3 nuovi indicatori di performance (1/2)

- Tenendo conto dell'esistenza di sole 11 possibili aziende vitivinicole e, quindi, della **significatività degli SC_{abs}** definibili per esse, si propongono i seguenti **tre coefficienti**, tutti definiti con riferimento a un periodo temporale di un anno:





RD: proposta di 3 nuovi indicatori di performance (2/2)

- $SC_{abs,1}$ (o "**indice di esternalizzazione della cantina**" - **WOI**): relativo al consumo di energia necessario per la lavorazione. Il complemento ad uno di esso è il prodotto interamente lavorato dalla cantina.

$$SC_{abs,1} = f(I_2, I_3, I_4, O_1, O_2, O_3, O_4) = \frac{\sum_{i=2}^4 I_i}{\sum_{j=1}^4 O_j}$$

semi-finished input products purchased from external companies

total production

- $SC_{abs,2}$ (o "**indice di quota di vino in sovrappressione**" - **OWSI**) è relativo all'incidenza della spumantizzazione sul totale dell'attività della cantina (per alcune aziende che lavorano solo vino)

$$SC_{abs,2} = f(I_3, I_4) = \frac{I_4}{\sum_{i=3}^4 I_i} = \frac{I_4}{I_3 + I_4}$$

overpressure wine purchased

sum of wine purchased from external companies

- $SC_{abs,3}$ (o "**indice di imbottigliamento del vino**" - **WBI**) è relativo all'attività del reparto di confezionamento.

$$SC_{abs,3} = f(O_1, O_2, O_3, O_4) = \frac{O_4}{\sum_{j=2}^4 O_j}$$

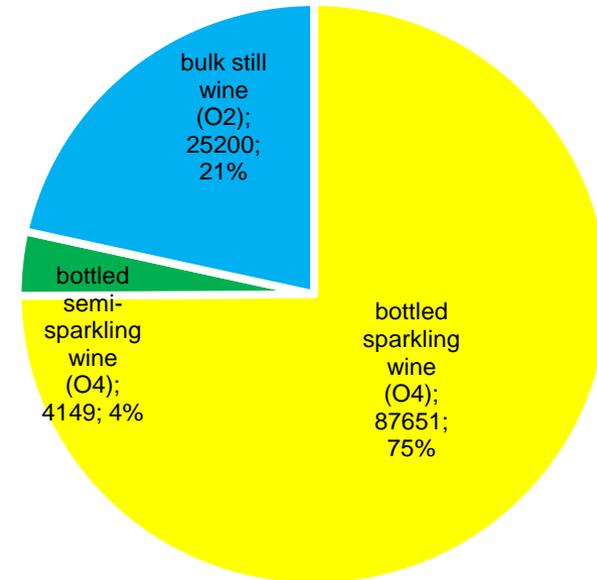
bottled wine

total production output



RD: applicazione ad un caso di studio

- Un'azienda vinicola del Nord Italia che produce vino spumante e fermo; non possiede vigneti, ma acquista (**INPUTS**):
 - uva (valore medio annuo: 113,229 q = I1)
 - vino (valore medio annuo: 33,519 hL = I3) da fonti esterne.
- Gli **OUTPUTS** medi annui sono :
 - 87,651 hL (75%) di vino spumante in bottiglia (O₄),
 - 4,149 hL (3%) di vino frizzante imbottigliato (O₄),
 - 25,200 hL (22%) di vino fermo sfuso (O₂).
- Nel triennio 2020-2022, il consumo totale di energia elettrica è di circa 3.350 MWh.
- Quindi:
 - $SC_{abs,1} (WOI) = (33,519 \text{ hL} / 117,000 \text{ hL}) = 28.6\%$
 - $SC_{abs,2} (OWSI) = (0 \text{ hL} / 33,519 \text{ hL}) = 0\%$
 - $SC_{abs,3} (WBI) = (91,800 \text{ hL} / 117,000 \text{ hL}) = 78.5\%$
 - $SEC = (3,350,000 \text{ kWh} / 117,000 \text{ hL}) = 28.6 \text{ kWh} \cdot \text{hL}^{-1}$





Conclusioni

- Osservando i flussi di input e output del ciclo produttivo di un'azienda, è possibile definire **una serie di coefficienti di prestazione standard** che assumono la forma di **rapporti** tra quantità assolute (SC_{abs}) o flussi di esse (SC_{ff}), prese singolarmente o come somma.
- Con 4 possibili input e 4 output del ciclo produttivo del vino, è possibile definire fino a **225 combinazioni teoriche di I/O, che possono definire altrettante tipologie di aziende coinvolte a vario titolo nel ciclo produttivo complessivo del vino** (cioè con diversi gradi di internalizzazione delle fasi produttive). Di queste, in realtà, si è riscontrato che esistono solo 11 tipologie.
- Analogamente, è possibile definire **240 SC_{abs} che hanno sia fattori di input sia di output**, e altre **266 SC_{abs} che hanno solo fattori di input o solo di output**.
- Di tutti i coefficienti possibili, **ne vengono proposti 3 in particolare** (ovvero: l'"*indice di esternalizzazione della cantina*", l'"*indice della quota di vino in sovrappressione*", l'"*indice di imbottigliamento del vino*"),
 - molto utili per confrontare aziende diverse sul piano tecnologico, dei consumi energetici, dell'efficienza energetica e dei relativi costi.
 - Da utilizzare d'ora in poi, in particolare accanto al consueto indice "*energia utilizzata per produrre un'unità di prodotto*" (SEC).



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e
Animali - Agri-Food, Environmental and Animal Sciences
Dept. (DI4A)

Thank you for your kind attention

Marco Bietresato

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group

marco.bietresato@uniud.it

*"Ars mechanica,
ars magnifica"
(Mechanical Engineering is a
marvelous form of art)*





**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari,
Ambientali e Animali (DI4A)

Supporting the current energy performance indicator for wineries to better monitor the overall production efficiency



Marco Bietresato, Gellio Ciotti, Alessandro Zironi,
Roberto Zironi, Rino Gubiani

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group
marco.bietresato@uniud.it



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI INGEGNERIA AGRARIA



AIA Mid-Term Conference – Padova 17-19 June 2024
Biosystems engineering promoting resilience to climate change



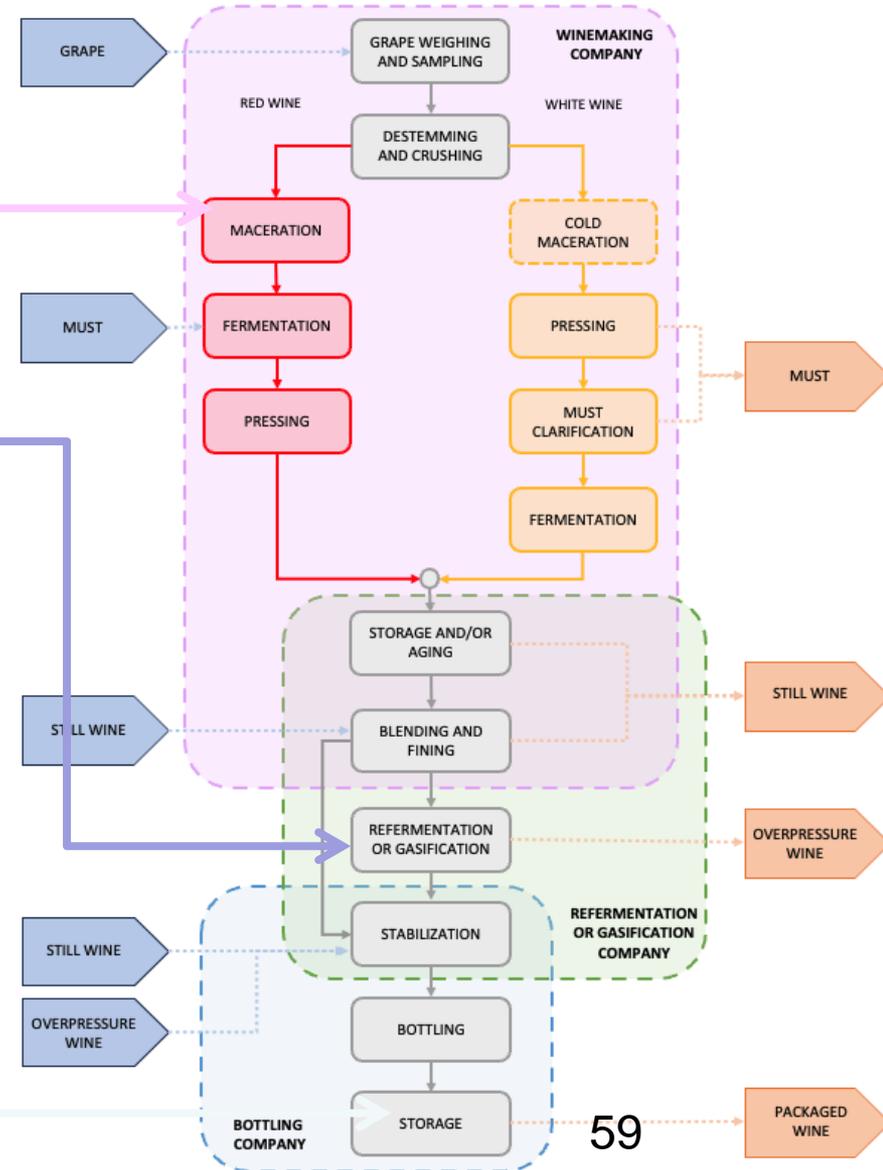
R&D – Possible reference companies

(2/3)

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE
hic sunt futura

4 basic types +
7 combinations

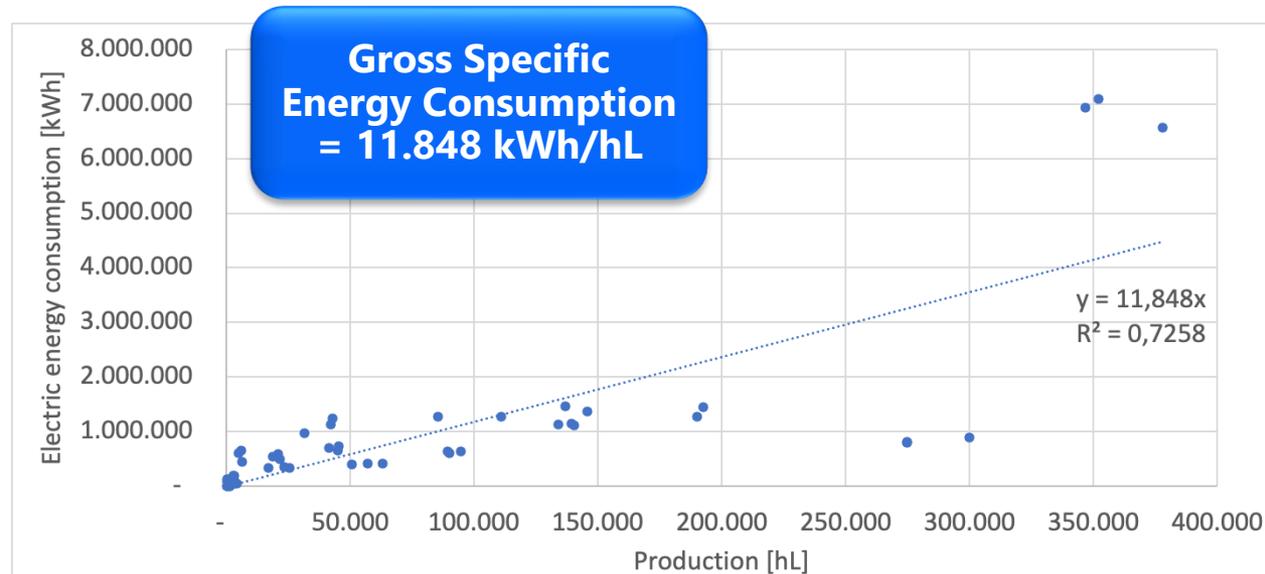
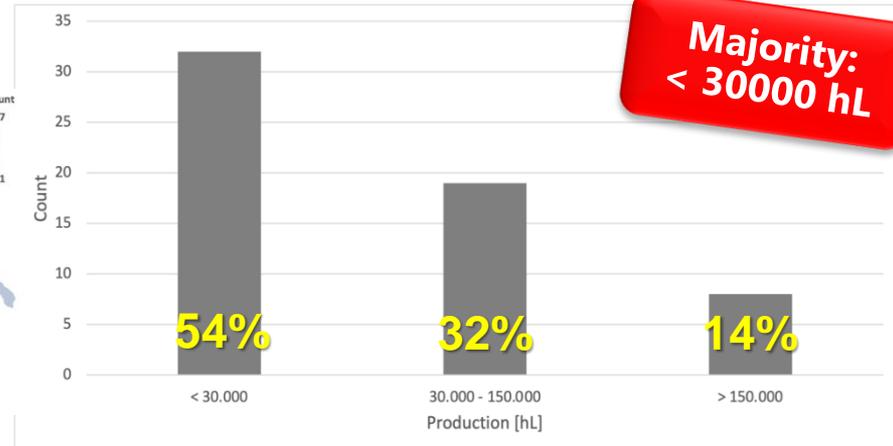
1. Winemaking c.
2. Refermentation c.
3. Gasification c.
4. Bottling c.
5. Winemaking and bottling c.
6. Winemaking and refermentation c.
7. Winemaking and gasification c.
8. Refermentation and bottling c.
9. Gasification and bottling c.
10. Winemaking, referm. and bottling c.
11. Winemaking, gasif., and bottling c.





R&D – Case-study: the IT. wine sector (1/5)

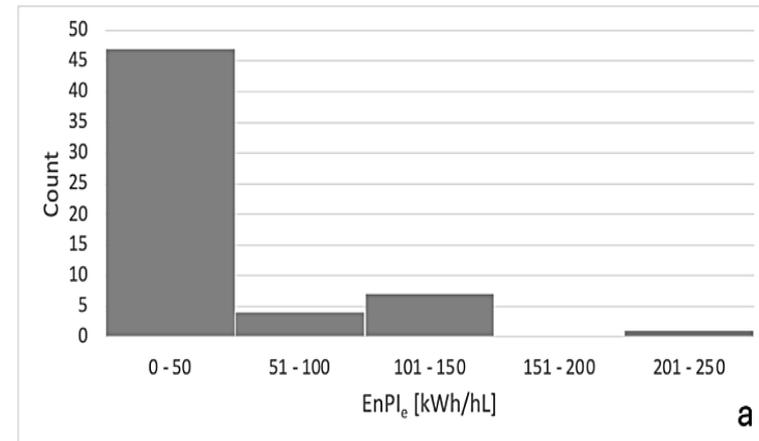
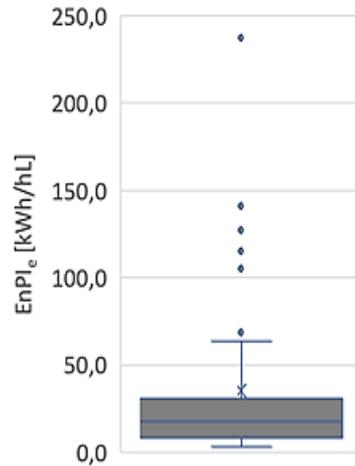
- Data collected from 20 firms in 7 regions, on 3 full annals available (2020-2021-2022), leading to a total of 60 data
- Wide spectrum of company sizes
- The R^2 of SEC is quite high (it seems acceptable) →



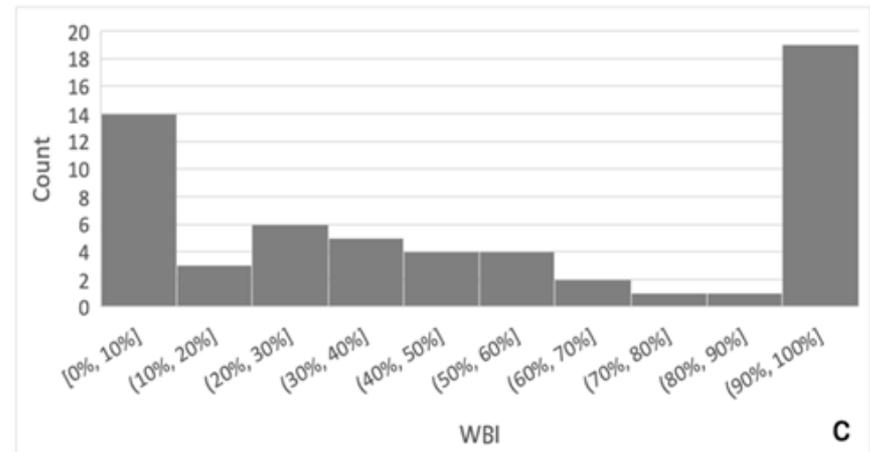
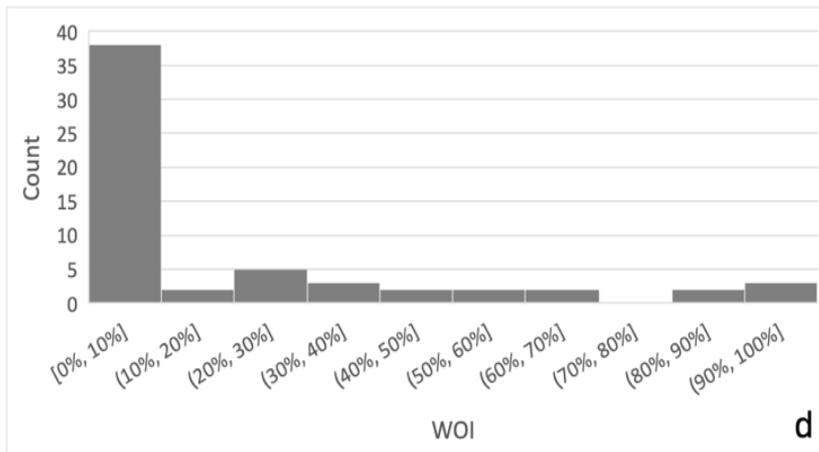


R&D – Case-study: the IT. wine sector (2/5)

- Punctual SEC data are quite dispersed
- Relying only on SEC for benchmarking energy efficiency may lead to inaccurate conclusions



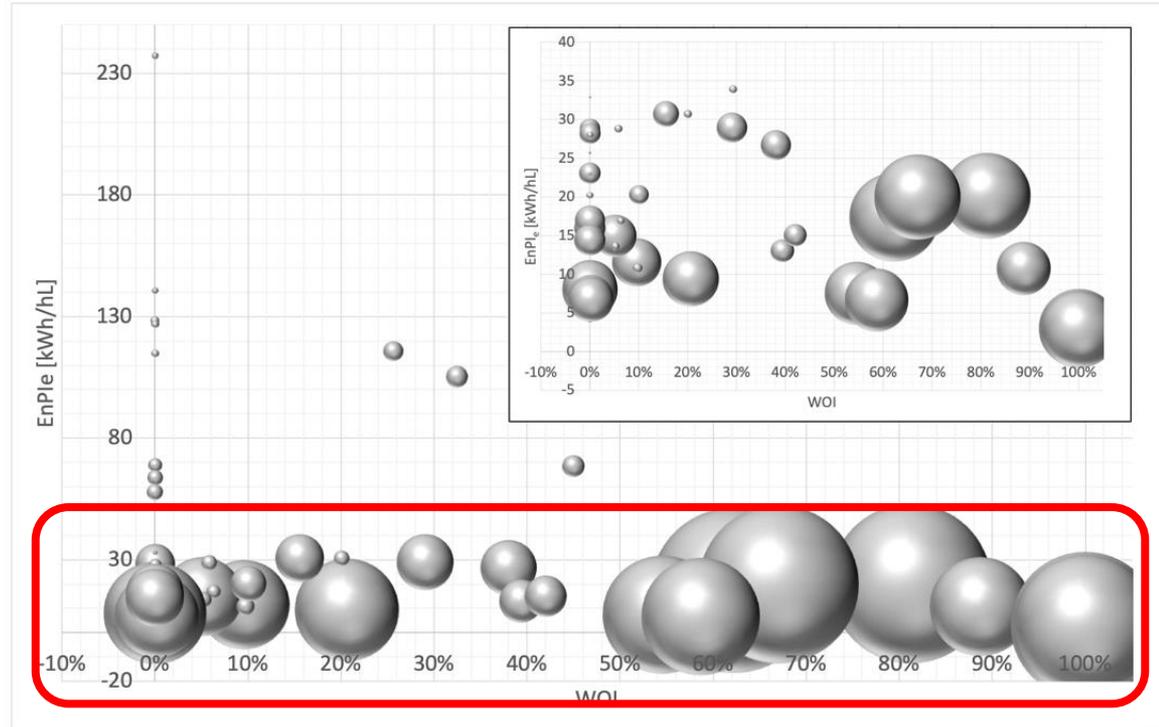
→ **WOI + WBI should be used**





R&D – Case-study: the IT. wine sector (3/5)

- It is more meaningful to analyse **this graph**: besides the $EnPI_e$ and WOI , the production is represented by the size of the bubbles



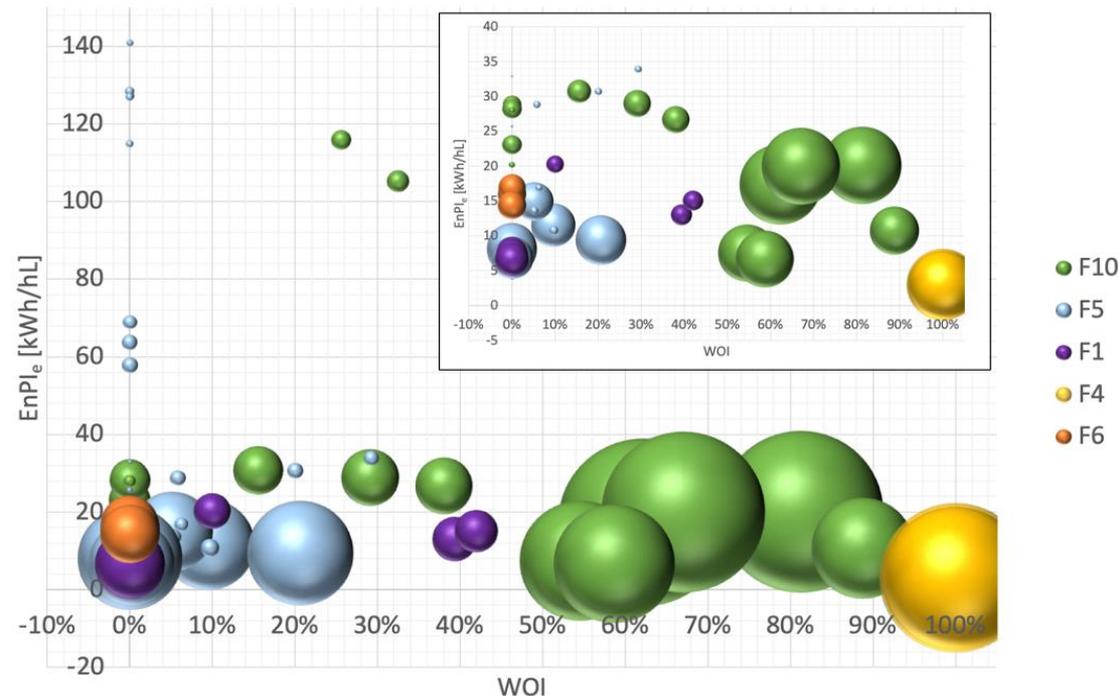
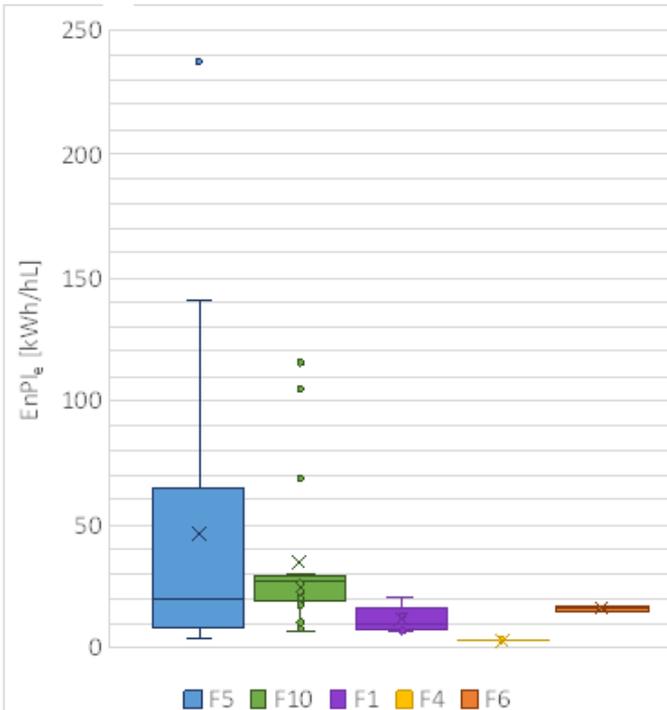
- It would be expected that these different production approaches would influence the companies' energy performance, but this is not so evident.
- Surprisingly, the graph reveals that **the SEC are similar, regardless the WOI**



R&D – Case-study: the IT. wine sector (4/5)

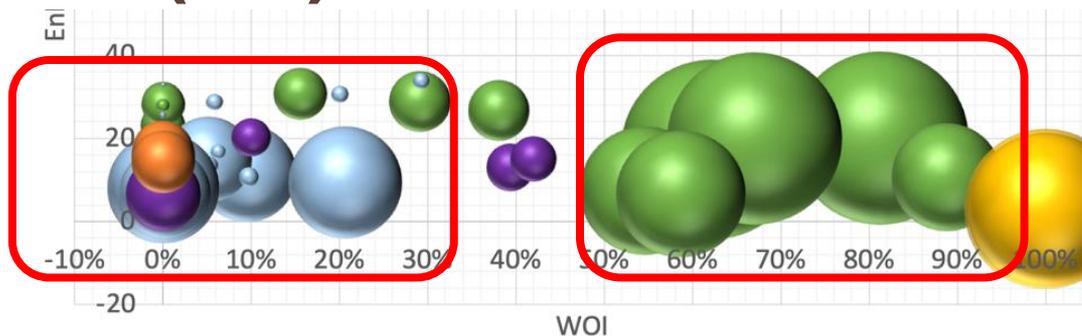
- So: companies have been grouped according to their production models

1. Winemaking c.
4. Bottling c.
5. Winemaking and bottling c.
6. Winemaking and refermentation c.
10. Winemaking, referm. and bottling c.





R&D – Case-study: the IT. wine sector (5/5)



diverse outsourcing levels

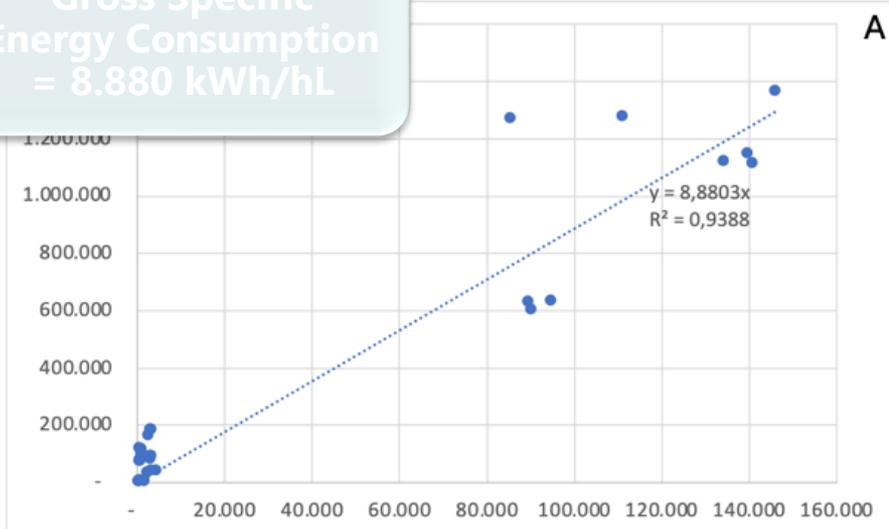
WOI < 30%

WOI > 50%

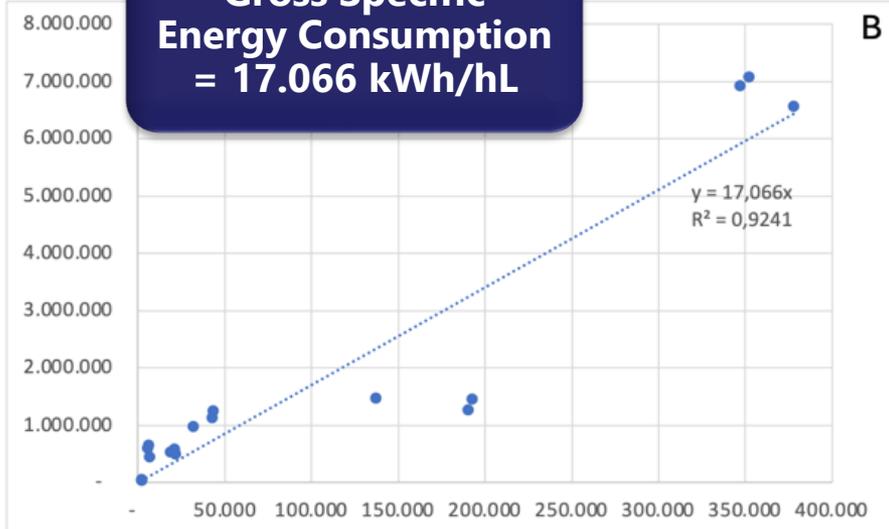
5. Winemaking and bottling c.

10. Winemaking, reform. and bottling c

Gross Specific Energy Consumption = 8.880 kWh/hL



Gross Specific Energy Consumption = 17.066 kWh/hL



...suggesting the presence of other factors influencing this significant disparity in energy efficiency.



Conclusions (1/2)

- This article presents an **innovative approach**:
 - aimed at assessing, monitoring and enhancing energy efficiency in the wine industry by allowing EnPIs benchmarking between comparable entities
 - easy to be implemented (requests basic I/O data typically available)
- To provide a more deep understanding of energy usage, wineries are classified into **11 reference models categorized by their process types**
- Of all the possible performance coefficients (ratios between absolute quantities), **3 novel performance coefficients are proposed** (namely: the “*winery outsourcing index*”, the “*overpressure wine share index*”, the “*wine packaging index*”),
 - very useful to compare different companies on the technological level, energy consumption, energy efficiency and related costs.
 - can be used from now on beside the usual index “*energy used to produce a unit of product*” (SEC).



Conclusions (2/2)

- To validate this methodology, a data collection form was developed and submitted to **20 wineries across Italy**, representative of the sector in terms of size and range of products (red, white, still, and sparkling wines).
- The categorization into 11 reference production process models and the incorporation of the 3 novel indices enable a **more thorough analysis of a winery's energy consumption across the entire production process**.
- This approach allows revealing that **some companies**, which seem highly efficient if considering only the global EnPI, **have, in reality, critical areas** that underscore the necessity for more detailed evaluations.



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e
Animali - Agri-Food, Environmental and Animal Sciences
Dept. (DI4A)

Thank you for your kind attention

Marco Bietresato

AGricultural Engineering REsearch (AGĒRE) Group

marco.bietresato@uniud.it

*"Ars mechanica,
ars magnifica"
(Mechanical Engineering is a
marvelous form of art)*

