

Enologia

L'impiego dei campi elettrici pulsati

Risvolti nutrizionali, sensoriali e salutistici

di **Claudio Carando**
Tecnologo alimentare

Utilizzo, opportunità, caratteristiche, vantaggi e criticità di questa tecnologia "non-termica" emergente

L'applicazione dei campi elettrici pulsati (PEF) nel settore alimentare si è sviluppata nel corso degli ultimi anni nell'ambito delle cosiddette tecnologie "non-termiche".

La risoluzione dell'Organizzazione internazionale della Vigna e del Vino (OIV) n. 634 del 2020 ha ammesso in ambito enologico l'adozione dei PEF su uve diraspate e pigiate rosse e bianche, al fine di facilitare l'estrazione di sostanze di interesse, quali gli antociani, i polifenoli, i composti aromatici e relativi precursori, l'azoto e, in generale, quanto presente all'interno delle cellule dell'acino.

Lo scopo di questo articolo è descriverne pertanto il potenziale spettro di utilizzo e le opportunità, valutandone le caratteristiche, i vantaggi e le eventuali criticità.

Tecnologie non-termiche

Recentemente i consumatori si stanno orientando su prodotti salubri e sicuri, che mantengano intatte

le proprie caratteristiche nutrizionali e sensoriali e che possano apportare benefici alla salute.

L'attenzione dell'industria si è rivolta all'elaborazione di tecnologie a basso impatto ambientale e ridotto consumo energetico, in ragione di quanto richiesto da un mercato sempre più sensibile alle prescrizioni di organizzazioni internazionali sull'impatto di malattie croniche come la sindrome metabolica e l'obesità e sul ruolo di regimi dietetici erranei, associati alla scarsa attività fisica.

In quest'ottica, le tecnologie "non-termiche" permettono di preservare i principi nutritivi presenti in alimenti e bevande, a differenza di quelle tradizionali (termiche) e con l'indubbio vantaggio di essere applicabili a frutta, vegetali, carne, pesce e spezie.

Rientrano in tal gruppo i campi elettrici pulsati, gli ultrasuoni, il plasma freddo, i fluidi supercritici, l'alta pressione idrostatica, le microonde e l'ozono, per citare le maggiormente conosciute e indagate negli ultimi anni.

Le priorità di abbattere la contaminazione della materia prima e ridurre il deterioramento, legato sia a microorganismi sia a enzimi e sostanze chimiche, durante la produzione, trasformazione e distribuzione, allungando la "shelf-life" del prodotto, sono state storicamente ottenute con l'uso del calore, che ha inevitabilmente comportato dei cambiamenti della texture degli alimenti e del valore nutritivo e la possibile generazione di composti tossici e cancerogeni.

Le tecnologie "non-termiche" permettono di preservare i principi nutritivi presenti in alimenti e bevande

Le tecnologie moderne possono invece essere utilizzate per un periodo ridotto di tempo e a livelli di temperatura prossimi a quella dell'ambiente, in maniera tale da lasciare immutata la composizione e il profilo organolettico di alimenti e bevande, che pertanto risultano meno processati e più freschi e appetibili agli occhi

del consumatore, in un mercato condizionato dall'esasperante nascita di prodotti funzionali, le cui indicazioni (claim) in etichetta ed effettiva biodisponibilità delle sostanze presenti (peptidi, antiossidanti e lipidi per esempio) sono spesso non indagate in maniera approfondita.

I PEF sono largamente studiati per:

- l'allungamento della durata del prodotto;
- l'estrazione di componenti funzionali richiesti dalla nutraceutica;
- la qualità degli alimenti sottoposti a deidratazione e congelamento e surgelazione;
- l'arricchimento delle proprietà fisico-chimiche di polisaccaridi, proteine e vitamine, anche a partire da sottoprodotti e scarti.





Tutti obiettivi ambiziosi e richiesti dalle politiche europee della “green economy” per il prossimo futuro.

Cosa sono i campi elettrici pulsati

La tecnica PEF utilizza un'intensità di campo elettrico da moderata ad alta, che varia da 100–300 V/cm in modalità “batch” e 20-80 kV/cm in modalità di estrazione continua.

Le teorie accettate per spiegare l'effetto espletato sono due:

- l'aumentata velocità, nella membrana cellulare biologica, delle reazioni chimiche di vari composti che incrementano la solubilità del solvente;
- il processo di elettroporazione, che coinvolge una forza elettrica che influenza e incrementa la permeabilità delle membrane cellulari.

Il prodotto alimentare (le vinacce, ad esempio) viene posizionato tra gli elettrodi e un campo

elettrico ad alta tensione. La membrana cellulare viene perforata creando pori idrofili, che aprono i canali di natura proteica, perdendo la sua funzionalità e integrità strutturale e consentendo di estrarre il contenuto cellulare.

Un campo elettrico può essere applicato in impulsi a decadimento esponenziale, onde quadre oscillatorie, triangolari unipolari o bipolari. L'elettroporazione risulta reversibile o irreversibile, ma, a seconda dell'applicazione, può essere controllata.

Generalmente, la bassa energia specifica (1–10 kJ/kg) e il tempo (da nanosecondi a millisecondi) del ciclo degli impulsi sono efficienti per ottenere l'estrazione. Durante tale processo si è riscontrata l'elettroporazione sia delle cellule eucariotiche sia di quelle procariotiche e la formazione di pori irreversibili (permanenti) e reversibili (temporanei) nelle loro membrane cellulari.

L'elettroporazione e, di conseguenza, la permeabilità della membrana cellulare dipendono dalle dimensioni della cellula e dalla geometria cellulare. L'intensità di un campo elettrico compreso tra

0,1 e 10 kV/cm è sufficiente per i tessuti vegetali delicati (ad esempio, pericarpo o mesocarpo di alcuni frutti); tuttavia, i materiali tenaci come i semi-vinaccioli necessitano di intensità elevate (da 10 a 20 kV/cm) per un'estrazione efficiente. Ciò fornisce anche alcuni vantaggi aggiuntivi, come la conservazione delle caratteristiche nutrizionali e sensoriali degli alimenti liquidi.

Le cellule sottoposte a un campo elettrico esterno sviluppano un elevato potenziale transmembrana dovuto all'accumulo di carica sulla superficie. Per proteggere tale potenziale, la cellula ha un limite di resistenza elettrica agli impulsi esterni senza danni considerevoli. L'entità del danno è direttamente proporzionale alla quantità di energia erogata dal campo elettrico. Il danno è reversibile e temporaneo quando l'intensità è bassa-moderata, a differenza di quella ad alta intensità, che provoca danni irreversibili e permanenti alla membrana cellulare.

In conclusione, i PEF migliorano il trasferimento di

massa, disgregando la struttura della membrana. L'aumento della permeabilità della membrana determina, quindi, la rottura cellulare, mentre l'aumento della velocità di trasferimento di massa facilita il rilascio del contenuto intracellulare.

L'entità dell'elettroporazione si lega alla forza del campo elettrico, al tipo, al numero di impulsi erogati, al tempo di trattamento e al tipo di materiale vegetale trattato.

Il campo elettrico dipende, inoltre, dalla geometria e dalla distanza degli elettrodi.

L'attrezzatura richiesta per un sistema da laboratorio è costituita da un generatore ad alto voltaggio, una camera per il trattamento del campione e un sistema di controllo e monitoraggio del processo. Tale processo dipende dalla forza del campo elettrico, dalla forma degli impulsi (esponenziale, sinusoidale o quadra), dall'intensità, dal numero e dalla loro frequenza e si può applicare in modalità di estrazione in "batch" o in continuo (scelta più adattabile a una produzione industriale).



I fattori che possono modificare l'efficacia del trattamento sono collegati non solo ai parametri dell'impianto, ma anche al tipo di solvente, alla composizione del campione e, pertanto, alla sua dimensione, pH, conduttività, forma, posizionamento intracellulare di vacuoli e contenuto citoplasmatico.

Risulta fondamentale per l'estrazione garantire un'uniforme erogazione del campo elettrico all'interno della camera dove si posiziona l'alimento bersaglio: generalmente 12-45 kV/cm sono sufficienti a estrarre componenti dal cibo in dipendenza dalle caratteristiche chimiche e morfologiche, ma un valore di 20 kV/cm consente il recupero di composti bioattivi.

Un altro elemento da valutare è il tempo del trattamento, legato peraltro all'eventuale aumento della temperatura e al tipo di solvente (solubilità, polarità e conduttività).

Risultati in enologia

Gli studi recenti riportano interessanti risultati nell'estrazione di biomolecole della cellula vegetale (come quelle delle bucce degli acini), ad esempio tannini, antociani e composti aromatici. In ambito enologico, i campi elettrici si possono applicare, su scala industriale o impianto pilota, sia sui grappoli sia sui sottoprodotti come le vinacce, con il vantaggio di un modesto incremento della temperatura (2-15 °C), che consente di lavorare anche in condizioni di refrigerazione.

I campi elettrici si possono applicare sia sui grappoli sia sui sottoprodotti, come le vinacce

Un altro vantaggio consiste nell'aumentare la permeabilità delle cellule dell'esocarpo per un aumentato rilascio di antociani con un'intensità energetica inferiore a quella richiesta per risultare efficace sui microrganismi, in particolare sui batteri: generalmente una forza del campo

elettrico inferiore ai 5 kV/cm è sufficiente per influenzare il rilascio di composti dalla cellula vegetale.

La solubilizzazione dei polifenoli per effetto dell'elettroporazione può contribuire anche al processo di maturazione nel vino, oltre a migliorarne le proprietà chimiche e sensoriali.

Il danno di membrana risulta efficace nella fase di affinamento su feccia col relativo rilascio di mannoproteine e riduzione dell'astringenza.

Si riscontra, tuttavia, a fronte dei benefici del trattamento, il problema della corrosione dei metalli a contatto col liquido, con la conseguente sgradevole sensazione a livello gustativo, col protrarsi della durata del trattamento, sebbene sia, nelle usuali condizioni di processo, un effetto trascurabile.

Gli studi sono stati condotti su differenti varietà di vitigni (Garnacha, Cabernet Sauvignon e Merlot, in particolare) con la conclusione di un rilascio dei polifenoli citoplasmatici significativo con una relativa riduzione dei tempi di macerazione, analogamente a quanto osservato con l'impiego degli ultrasuoni prima della fermentazione, ma con la differenza sostanziale della distruzione delle strutture cellulari dell'acino rispetto alla formazione dei pori nella membrana citoplasmatica con l'uso dei PEF, che lascia intatta il contenuto della cellula.

Il riscontro di aumentati livelli di tannini (da vinaccioli e bucce in misura minore), oltre ad avere ripercussioni sul gusto, è importante per lo sviluppo di pigmenti polimerici per la combinazione con le antocianine, che stabilizzano il colore in fase di maturazione.

I tannini estratti dalle bucce, a differenza di quelli dei vinaccioli, contribuiscono, a livello sensoriale, a una morbidezza maggiormente apprezzata dal consumatore.

L'effetto dei PEF sul quadro aromatico del vino è stato indagato (Merlot e Garnacha, in particolare) e si è riscontrata un'aumentata concentrazione di monoterpeni, esteri e composti fenolici volatili rilasciati dalle bucce dell'acino, con un miglioramento del profilo olfattivo dei campioni e la creazione di tratti distintivi caratteristici, a differenza dei campioni non trattati.

L'impiego di questa tecnologia risulta di sicuro interesse, in futuro, considerando fattori variabili

come le annate delle vendemmie (con relativi fattori climatici) e i fattori connessi all'area geografica del vitigno, specialmente nel caso di varietà internazionali come il Merlot o il Cabernet Sauvignon, ad esempio, non soltanto col rilascio controllato dei fenoli, metaboliti primari e sostanze bioattive, ma anche promuovendo il metabolismo del lievito durante la fermentazione e le reazioni chimiche successive alla rottura dei vacuoli e all'aumentata permeabilità delle cellule della buccia dell'acino.

Un altro potenziale impiego è come sostituto dell'anidride solforosa (SO_2) per la capacità di inattivare lieviti e batteri deterioranti nonché impedire blocchi della fermentazione e stabilizzare il mosto prima, il vino poi, fino al consumo. Resta da valutare quanto l'anidride solforosa possa essere parzialmente o interamente eliminata nei differenti tipi di vino, studiando l'affiancamento di tecnologie non-termiche a quantità progressivamente ridotte del conservante.

La *Tabella 1* mostra e riassume i risultati dei PEF in termini di intensità cromatica, contenuto di antocianine e indice dei polifenoli totali dopo trattamento in batch.

I campi elettrici pulsati sono una promettente tecnologia con molteplici campi di impiego: servirà nei prossimi studi, incentivati dall'interesse dei consumatori per vini con una ridotta presenza di additivi e considerati pertanto più sani, valutarne tuttavia i costi di investimento, l'adattamento su scala industriale, le richieste energetiche di impianti in continuo (per la gestione delle centinaia-migliaia

Tabella 1

I risultati dei PEF in termini di intensità cromatica, contenuto di antocianine e indice dei polifenoli totali dopo trattamento in batch

Grape variety	PEF treatment conditions	Δ CI (%)	Δ TAC (%)	Δ TPI (%)	Refs.
<i>Tempranillo</i>	5 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 1.8 kJ.Kg ⁻¹	13	15	18	López et al. (2008b)
	10 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 6.7 kJ.Kg ⁻¹	23	26	24	
<i>Grenache</i>	2 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 0.4 kJ.Kg ⁻¹	26	11	18	López et al. (2008a)
	5 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 1.8 kJ.Kg ⁻¹	21	32	14	
	10 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 6.7 kJ.Kg ⁻¹	29	24	16	
<i>Graciano</i>	2 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 0.4 kJ.Kg ⁻¹	19	18	14	
	5 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 1.8 kJ.Kg ⁻¹	12	14	13	
	10 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 6.7 kJ.Kg ⁻¹	6	7	12	
<i>Mazuelo</i>	2 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 0.4 kJ.Kg ⁻¹	29	16	14	
	5 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 1.8 kJ.Kg ⁻¹	51	35	31	
	10 kV.Cm ⁻¹ ; 50 pulses; 6.7 kJ.Kg ⁻¹	62	38	36	
<i>Cabernet Sauvignon</i>	5 kV.Cm ⁻¹ ; 50 (exp. pulses); 2.1 kJ.Kg ⁻¹	48	43	45	López et al. (2009)
<i>Aglicano</i>	1.0 kV.Cm ⁻¹ ; 10 ⁴ pulses; 50 kJ.Kg ⁻¹	6	9	13	Donsì et al. (2010)
	1.5 kV.Cm ⁻¹ ; 10 ³ pulses; 10 kJ.Kg ⁻¹	12	54	32	
	1.5 kV.Cm ⁻¹ ; 2.5 x 10 ³ pulses; 25 kJ.Kg ⁻¹	19	76	38	
<i>Merlot</i>	0.5 kV.Cm ⁻¹ ; 100 ms	ns	25	18	Delsart et al. (2012)
<i>Cabernet Franc</i>	0.8 kV.Cm ⁻¹ ; 100 ms; 42 kJ.Kg ⁻¹	20	49	51	El Darra et al. (2013)
	5 kV.Cm ⁻¹ ; 1 ms; 53 kJ.Kg ⁻¹	23	60	62	

ns no significant difference

di tonnellate di grappoli trasformati annualmente dalle aziende), le rese, i tempi dei trattamenti e la sostenibilità ambientale.

I PEF sono una tecnologia promettente, ma nei prossimi anni servirà valutarne costi di investimento, sostenibilità ambientale e rese