Università degli studi di Padova

Dipartimento di Scienze Chimiche

Corso di Laurea in Chimica

Origini chimiche alla base dell'abbinamento tra vini e formaggi

Relatore: Prof. Saverio Santi

Laureando: Alessia Bolzan

Matricola: 1170934

Anno accademico 2023/2024

Sommario

Introduzione **3**

Latte **3**

Proteine 3

Lipidi 4

Carboidrati 4

Formaggio **5**

Vino **6**

Composizione del vino 8

Valutazione del gusto negli alimenti **9**

Metodi sensoriali **10**

Metodi strumentali **11**

Influenze chimiche tra vino e formaggio **12**

Conclusioni **15**

Bibliografia **17**

Introduzione

L'abbinamento tra vini e formaggi è uno tra i più classici abbinamenti che gli esperti consigliano. Sia il vino che il formaggio sono alimenti antichissimi che si intrecciano alla storia stessa dell'uomo.
Mentre le prime testimonianze della produzione di vino su larga scala risalgono alla fine del V millennio a.C. in Armenia, le prime prove della produzione di formaggio si hanno in reperti di 7200 anni fa, ritrovati sulle coste della Dalmazia.
È quindi facile immaginare come l'abbinamento tra vini e formaggi sia risultato naturale, nei contesti in cui vi fosse stata produzione contemporanea di questi prodotti. Tuttavia, ad oggi i criteri di abbinamento dei vari tipi di vini e formaggi hanno per lo più carattere aneddotico ed empirico e mancano di ragioni più concrete per il loro accostamento. Questo è dovuto alla complessità di analisi del problema: oltre alla sconfinata varietà di vini e formaggi, ognuno con le sue peculiari caratteristiche, la stessa fase di degustazione è difficile da inquadrare poiché dipende da una grande varietà di parametri difficilmente misurabili.
Non è stato ben identificato, per esempio, in che modo il cervello elabori i vari composti in una determinata percezione, le interazioni tra loro e con i recettori preposti.[1] Per questo risulta difficoltoso non solo monitorare nel tempo la diversa percezione durante una degustazione, ma collegare quella percezione alla composizione dell'alimento e a molecole precise che la provochino; a cascata questo inficia la nostra capacità di determinare quali siano le interazioni ideali tra cibo e bevande.
Questo elaborato si propone di porre maggior chiarezza su quello che si è scoperto finora sull'abbinamento di questi due prodotti, in che modo l'uno influenzi l'altro e se vi sia attualmente qualche indizio su quali caratteristiche debbano essere attenzionate durante l'abbinamento.

Latte

Per latte si intende *"il prodotto ottenuto dalla mungitura regolare, ininterrotta e completa di animali in buono stato di salute e di nutrizione"* (RD 9/5/29). Ove non altrimenti specificato, ci si riferisce al latte di vacca (*Bos taurus*), che è quello maggiormente utilizzato.
Esso è costituito da una miscela eterogenea di acqua (che costituisce circa l'87,5%) e altri costituenti di diversa natura: alcuni in soluzione (quali vitamine idrosolubili, sali minerali, zuccheri), altre in emulsione (come grassi e vitamine liposolubili), in sospensione (cellule somatiche e microorganismi) e in soluzione o emulsione nel siero (proteine e sali di fosfato).

Proteine

Le proteine contenute nel latte sono principalmente di due tipi: caseine (costituenti l'80% delle proteine totali) e proteine del siero.
Le proteine del siero sono solubili a pH=4,6 (pH di coagulazione delle caseine) e non coagulano nemmeno per effetto di enzimi, pertanto questa frazione non si ritrova nei formaggi, ma viene utilizzata per produrre la ricotta. Hanno elevato valore biologico e un maggior contenuto di cisteina, triptofano e lisina. Le principali proteine del siero sono α-lattoalbumina, β-lattoglobulina, sieroalbumina e immunoglobuline e sono proteine di struttura globulare: questa caratteristica le rende difficilmente attaccabili dagli enzimi proteolitici. Essendo queste proteine ricche in cisteina, che forma ponti disolfuro intramolecolari, si possono denaturare per effetto del calore, formando ponti disolfuro intermolecolari.
Con "caseina" si intende una vasta famiglia di proteine non solubili in acqua che coagulano per leggera acidificazione o per l'azione di enzimi specifici (rennina o pepsina). Questa frazione è quella che, in seguito alla precipitazione, costituisce i formaggi.

Nel latte, le caseine si presentano in forma di micelle sferiche con diametro di circa 100-200 nm (Figura 1). Ogni micella è un aggregato di submicelle di α, β e κ caseine: α e β-caseine hanno estremità N-terminali ricche di gruppi polari e fosfoserina, i quali permettono di legare ioni Ca^{2+}, mentre le κ-caseine sono glicoproteine senza residui fosfato, ma con residui di treonina all'estremità C-terminale, dove è legato un trisaccaride, che le conferisce carattere idrofilo; il gruppo carbossilico del carboidrato rende sensibile al pH la molecola.

Le κ-caseine vengono disposte preferenzialmente all'esterno della micella, con il carboidrato esposto che rende solubile la molecola e non legando il calcio, impediscono alla micella di diventare troppo grande.
Invece, α e β-caseine sono responsabili dell'aggregazione delle submicelle, reagendo con gli ioni Ca^{2+} insieme al fosfato colloidale (preferenzialmente in forma $Ca_9(PO_4)_6$).

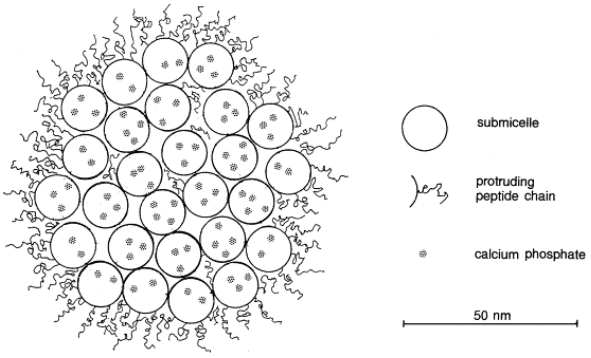

Figura 1 Micella di caseina[5]

Le caseine sono proteine con una struttura terziaria non ben definita (*random coil*) a causa dell'abbondante quantità di prolina di cui sono composte, che le rende stabili al calore.
Un fattore che impedisce l'aggregazione delle micelle è la parte C-terminale della κ caseina, la quale è molto polare e carica negativamente la micella, impedendo così l'aggregazione al pH naturale del latte (pH~6,5).
Nel momento in cui il pH diminuisce, raggiungono il punto isoelettrico (4,6) e quindi si aggregano.
Gli enzimi proteolitici presenti nel caglio (o presame) sono responsabili della scissione della parte C-terminale di questa caseina, togliendo la parte che rendeva le micelle cariche negativamente e comportando quindi l'aggregazione delle caseine.

Lipidi

Il contenuto in lipidi varia a seconda della specie: il contenuto di lipidi nel latte di vacca si aggira attorno al 3,5%, ma rimane alta la variabilità a seconda della razza, dell'alimentazione, delle tecniche di allevamento e dei periodi di lattazione. La frazione lipidica è composta per la maggior parte da gliceridi (99%), la restante parte consta in fosfolipidi (1%), steroli esterificati, vitamine liposolubili.
Nel latte si presenta con globuli in emulsione, che tendono ad affiorare sulla superficie del liquido, formando, nel tempo, la crema.
Nonostante la variabilità dei lipidi nel grasso del latte sia estrema, si possono individuare in particolare l'acido butirrico, caprilico e capronico come costituenti caratteristici dei gliceridi del latte dei ruminanti; questi sono acidi volatili che hanno un odore caratteristico che si libera in seguito alla maturazione dei formaggi.

Carboidrati

Uno degli zuccheri più importanti è il lattosio, un disaccaride costituito da glucosio e galattosio, con legame β 1-4 ed è uno zucchero riducente. Esso costituisce la maggior parte degli zuccheri presenti nel latte ed è il maggior componente solubile.
Ha un ruolo importante in quanto è il substrato della fermentazione lattica, che avviene già nel periodo che precede la maturazione. È responsabile insieme alle proteine dell'imbrunimento non enzimatico del latte per effetto del calore, formando prodotti che sono utili indicatori della storia termica del latte.

Si possono poi trovare piccole quantità di altri glucidi quali glucosio, galattosio (derivate dalla lisi acida ed enzimatica del lattosio), oligosaccaridi, zuccheri fosforilati, N-acetilglucosammina. Infine, alcune proteine del latte sono glicosilate e alcuni lipidi possono presentare porzioni glucidiche.[2]

Formaggio

Per RD 2033/25 si stabilisce che "*il nome di formaggio o cacio è riservato al prodotto ottenuto dal latte intero, parzialmente scremato o scremato oppure dalla crema, in seguito a coagulazione acida o presamica, anche facendo uso di fermenti o cloruro di sodio*".

La composizione chimica del formaggio risulta molto simile a quella del latte di partenza, in particolare per quello che riguarda il contenuto in grassi e proteine, ma risulta avere comunque una certa variabilità, dipendente sia dai diversi tipi di lavorazioni e tecniche di produzione, tipo di flora microbica e stagionatura. Tutti questi fattori hanno grande importanza, non solo per quanto riguarda la composizione chimica, ma influenzano anche le caratteristiche organolettiche.
Prima della lavorazione il latte viene pastorizzato a 60-65°C per 30-40 minuti (pastorizzazione bassa) o a 70°C per 10-15 secondi (pastorizzazione rapida); si procede poi con un innesto di batteri o muffe selezionati.
Si prosegue quindi alla coagulazione lattica e la coagulazione presamica.
La *coagulazione lattica*, a seguito di un'aggiunta di agenti acidificanti o per la presenza di batteri lattici, causa una diminuzione del pH per la formazione di acido lattico, determinando una diminuzione delle cariche negative, che aumenta quanto più il pH si approssima al punto isoelettrico. Inoltre, l'acido idrofilo disidrata parzialmente le micelle. Le micelle non si aggregano in quanto il calcio legato alle proteine e il fosfato di calcio tendono a passare in soluzione. A pH 6 la metà del calcio colloidale diventa solubile e di conseguenza aumenta la quantità di caseina solubile, con disgregazione delle micelle. A pH 5,2 il numero di cariche negative è molto basso e inizia la flocculazione, favorita dalla completa solubilizzazione del calcio colloidale, a pH 4,6 la caseina raggiunge il suo punto isoelettrico e la coagulazione è totale.
Se l'acidificazione avviene lentamente mediante fermentazione si ottiene un gel: al diminuire del pH, il calcio diventa solubile, a pH superiore al punto isoelettrico le proteine sono cariche negativamente, a pH inferiore possiedono carica positiva.
Nella *coagulazione presamica* invece, per aggiunta di caglio si neutralizzano le cariche negative ed in parallelo si solubilizza il fosfato tricalcico colloidale.
Il caglio è tradizionalmente una polvere ottenuta dall'abomaso essiccato di vitelli o capretti. Questo preparato contiene l'enzima chimosina o rennina, il quale agisce tagliando la catena della κ caseina a livello dell'estremità C-terminale (tra i residui 105 e 106, fenilalanina e metionina[3]) della catena, liberando il trisaccaride.
Questa rottura destabilizza le micelle neutralizzando la parte a più alto peso molecolare ed eliminando la parte polare, provocando così l'aggregazione delle micelle e la loro precipitazione.
La caseina, una volta subita l'azione della rennina diventa paracaseina, la quale addiziona calcio, formando paracaseinato di calcio, una rete gelatinosa nelle cui maglie intrappola globuli di grasso e siero. Questa maglia tende poi a contrarsi, trattenendo il grasso ed espellendo il siero.
La cagliata viene in seguito rotta meccanicamente in frammenti che hanno dimensioni diverse a seconda del tipo di formaggio che si vuole ottenere, allo scopo di favorire l'espulsione del siero; per ultimare lo spurgo si procede con una fase di cottura tra i 38 e i 60°C per tempi variabili.
La cagliata viene quindi estratta dal siero, messa in stampi o fascere dove continua lo spurgo del siero e dove il formaggio assume la sua forma caratteristica. Questa fase ha una durata variabile a seconda della diversa destinazione della cagliata e viene seguita dalla salagione (a secco o in salamoia).

Infine, l'ultima fase riguarda la maturazione che dura fino a quando il formaggio non ha assunto le caratteristiche tipiche della sua varietà. Per i formaggi a pasta molle la maturazione dura qualche giorno, mentre per alcuni formaggi a pasta cotta può durare oltre a un anno e avviene in ambienti con temperatura e umidità controllate.
Durante questo periodo il formaggio subisce molte trasformazioni ad opera di enzimi microbici:
oltre a una diminuzione del contenuto d'acqua, si hanno trasformazioni a carico di glucidi, proteine e lipidi.
La perdita d'acqua è correlata allo spurgo del siero e a seconda delle varietà si può avere una perdita tra il 25 e il 60%. A limitare la perdita d'acqua vi è la formazione della crosta che protegge contestualmente la forma dalle contaminazioni e ha funzione contenitiva della pasta.
Il lattosio subisce fermentazione a carico dei batteri lattici e viene trasformato in acido lattico oppure in acido lattico, alcol etilico e anidride carbonica. L'acido lattico conferisce compattezza ed elasticità alla forma, inoltre facilita l'eliminazione dell'acqua e inibisce la putrefazione.
Nella maggior parte dei casi viene in parte salificato in forma di lattato di calcio che costituisce i grani caratteristici di alcuni formaggi, come il Grana. Con il tempo, quindi, l'acido lattico libero si riduce e diminuisce l'acidità del formaggio.
I batteri lattici non hanno un'azione di lipolisi molto spinta e liberano acidi grassi a catena media o corta. Questi composti, seppur prodotti in piccola quantità sono responsabili dell'odore e sapore caratteristici di alcuni formaggi (ad esempio il sapore piccante del Gorgonzola).
La trasformazione più importante riguarda quella delle proteine poiché cambia radicalmente le proprietà organolettiche del formaggio: è causa sia dell'ammorbidimento della pasta, sia della formazione di sapori e aromi desiderati, oltre che del cambiamento del colore del formaggio.
Il paracaseinato bicalcico reagisce con l'acido lattico formato, diventando paracaseinato monocalcico, il quale in acqua calda fonde, può essere tirato in fili ed è alla base della produzione di formaggi a pasta filata.
L'acido lattico sequestra poi un altro catione Ca^{2+} formando paracaseinato e lattato di calcio.
La paracaseina viene a questo punto attaccata dalle proteasi; i batteri lattici hanno un'azione proteolitica solo parziale e questo provoca la produzione di peptidi e amminoacidi liberi che provocano la formazione di aroma e sapore senza provocare il rammollimento della pasta.[2,4]

Vino

Il vino è *"il prodotto che si ottiene dalla fermentazione alcolica totale o parziale dell'uva fresca, ammostata o del mosto d'uva"* (DPR 162/65 e successive modifiche).
Si utilizzano per la produzione europea esclusivamente uve di *Vitis Vinifera* (Regolamento (UE) n. 1308/2013).

L'uva è un'infruttescenza a grappolo, composta da una struttura legnosa (raspo) che tiene insieme gli acini costituiti dalla buccia che avvolge la polpa e i semi (vinaccioli).
La buccia è una parte molto importante dell'acino, poiché oltre ad ospitare sulla sua superficie una popolazione di lieviti che risultano utili alla successiva fermentazione, contiene una serie di sostanze coloranti (antociani che forniscono colore nelle uve rosse (Figura 2), flavonoli che conferiscono colorazione gialla nelle uve bianche) e sostanze tanniche (polifenoli derivati dell'acido gallico, che per polimerizzazione danno origine a tannini condensati, molto importanti per la caratteristica

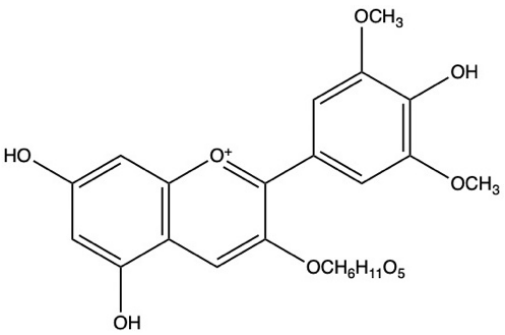

Figura 2 Un antociano: la malvidina, pigmento rosso delle uve di Vitis Vinifera

sensazione di astringenza, soprattutto nei vini rossi). Nella buccia, inoltre, vi sono una gran quantità di sostanze aromatiche che contribuiscono a determinare l'aroma nel vino.
La polpa è costituita prevalentemente dal succo che andrà a formare il mosto, una miscela di acqua, acidi organici, sostanze colloidali, proteine e zuccheri.
I vinaccioli, infine, sono i semi dell'uva e sono costituiti soprattutto da tannini (all'esterno del seme) e da una frazione lipidica da cui si può ricavare dell'olio.

Per avviare la vinificazione, l'uva viene diraspata (poiché il raspo contiene troppi tannini) e pigiata. A seconda del tipo di fermentazione, le bucce e i semi (che insieme prendono il nome di vinacce) possono essere separare dal mosto (vinificazione in bianco) o lasciate insieme al mosto (vinificazione in rosso).
Prima della fase di vinificazione solitamente viene aggiunta anidride solforosa soprattutto in virtù della sua azione selettiva contro microrganismi indesiderati nel vino, senza danneggiare quelli responsabili della fermentazione.
Nel caso di vinificazione in rosso, le vinacce garantiscono una fermentazione più tumultuosa per la maggior presenza di lieviti e una maggior limpidità per l'azione chiarificatrice che svolgono i tannini estratti dalle bucce. In questo tipo di vinificazione, inoltre la cosa più importante è il trasferimento di molecole coloranti e di molecole aromatiche dalle bucce al vino.
Per la vinificazione in bianco le vinacce vengono eliminate subito in fase di pigiatura e quindi il vino risulterà poco aromatico e poco colorato.
A causa dell'assenza dei tannini e della loro azione chiarificante, è necessario un passaggio chiamato di defecazione, in cui viene aggiunta solitamente silice, bentonite o gelatine, che fanno precipitare sostanze in sospensione quali residui di bucce e proteine che possono causare intorbidimento nel vino.
Durante la vinificazione, il mosto subisce il processo di fermentazione alcolica (Figura 3): il glucosio e il fruttosio presenti nel mosto vengono trasformati dai lieviti prima in acido piruvico, poi per decarbossilazione in gliceraldeide che infine viene ridotta ad alcol etilico.

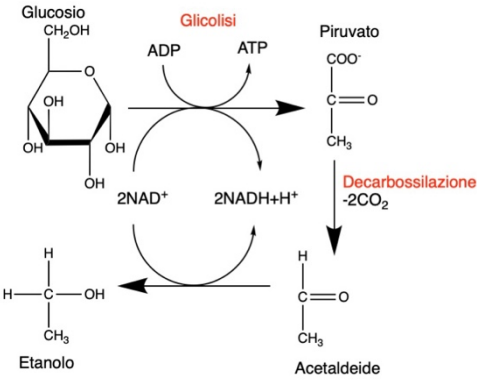

Figura 3 Fermentazione alcolica

All'inizio della fermentazione, vi è la necessità di rigenerare il NAD^+, necessario per la glicolisi, poiché, finché non viene prodotta acetaldeide, questo non si può rigenerare.
Per questo si sfrutta questa ulteriore fermentazione che riduce il diossiacetonfosfato a glicerofosfato, il quale a sua volta viene idrolizzato a glicerina.
La produzione di questa molecola nel vino risulta essere importante poiché dà sensazione di morbidezza in bocca.
Nei vini rossi solitamente viene favorito anche un altro tipo di fermentazione, a seguito della fermentazione alcolica, cioè la fermentazione malo-lattica. In questo processo i batteri lattici trasformano l'acido malico in acido lattico e CO_2. Si abbatte così l'acidità del vino e ne deriva un bilanciamento del gusto del vino, poiché la minor acidità bilancia meglio la sensazione di astringenza molto presente in questo tipo di vini; inoltre, tramite questo processo si producono anche altre sostanze aromatiche, quali acetoino, diacetile, 2,3-butandiolo ed esteri volatili che contribuiscono a modificarne l'aroma. Questo processo ha anche il pregio di rendere biologicamente stabile il vino, consumando l'acido malico che potrebbe essere altrimenti fermentato da altri batteri.

Composizione del vino

La sostanza maggioritaria è l'acqua (85-90%) che funge da solvente per gli altri costituenti. L'alcol etilico che si forma durante la fermentazione alcolica per legge non può essere inferiore al 6%$_{V/V}$ all'interno del vino. Altri alcoli presenti nel vino sono il glicerolo, che conferisce sapore più morbido, il 2,3-butandiolo e il sorbitolo, presente nell'uva in bassa concentrazione.

L'acidità invece è dovuta a una serie di acidi in gran parte già presenti nelle uve. L'acido tartarico è l'acido maggiormente presente, già nell'uva, è un acido non volatile (quindi non distillabile in corrente di vapore) che precipita lentamente in forma di tartrato acido di potassio o tartrato di calcio con l'aumento della concentrazione di alcol in soluzione, con l'abbassamento della temperatura o a seguito della liberazione di cationi da parte del malato (base coniugata dell'acido malico) con la fermentazione malo-lattica. Può essere aggiunto ai vini come correttore di acidità.
L'acido malico è anch'esso un acido non volatile, che è presente nelle uve di origine del vino. La sua quantità diminuisce se per produrre il vino si fa avvenire la fermentazione malo-lattica.
Ci può essere presenza di acido citrico, che ha la funzione di solubilizzare il Fe^{3+} presente nei vini, per evitare la sua precipitazione; per questo la sua aggiunta è consentita per stabilizzare il vino.
Altri acidi formati durante i processi di vinificazione sono: l'acido lattico, che si forma durante la fermentazione malo-lattica, acido succinico, formato con la fermentazione alcolica e l'acido acetico che si forma a seguito della fermentazione alcolica, malo-lattica o ad opera dei batteri acetici e lattici. Oltre a questi si possono trovare altre piccole quantità di acidi organici che concorrono a formare l'aroma.

Per quanto riguarda gli zuccheri, alla fine della vinificazione, nonostante il processo di fermentazione alcolica, è possibile che rimangano piccole quantità di glucosio o fruttosio, mentre altri zuccheri non fermentescibili, come arabinosio, xilosio e ribosio, derivano dall'uva di partenza.

Importantissime sono le sostanze volatili, molte responsabili dell'aroma. Tra queste si ritrovano acidi a basso peso molecolare, alcoli, aldeidi, chetoni ed esteri. L'aldeide acetica si forma nella fase di fermentazione alcolica e può aumentare a seguito dell'azione dei batteri acetici durante l'invecchiamento. Altre aldeidi presenti sono propanale, esanale, etanale, che hanno tutte odori fruttati ed erbacei[5]. Tra i chetoni abbiamo acetilmetilcarbinolo e diacetile che sono entrambi aromi presenti nel burro[5]. Fanno parte della classe degli esteri l'acetato di etile, che è avvertito quando si verificano fenomeni di acescenza nel vino, e il lattato, oltre ad altre molecole con pesi molecolari maggiori.
Infine durante la fermentazione alcolica possono formarsi anche lattoni, il più importante dei quali è il γ-butirrolattone.

Oltre a sali minerali, vitamine e pectine che sono presenti nel vino in quantità e tipo variabili, altri componenti molto importati sono le sostanze coloranti, tutte facenti parte della classe dei polifenoli: il tipo varia in base alla varietà delle uve usate, alle tecniche, alla temperatura e ai processi di lavorazione impiegati. Oltre all'aspetto edonico di estrema importanza in un prodotto come il vino, questi composti hanno anche l'importante funzione di preservare il vino dalle ossidazioni; a causa delle differenti tecniche di lavorazione, queste sostanze sono più presenti nei vini vinificati in rosso rispetto ai vini vinificati in bianco.[2,4]

Valutazione del gusto negli alimenti

Poiché la fase di abbinamento di cibo e bevande si basa soprattutto sul sapore è necessario determinare come questo viene percepito in modo non solo qualitativo, ma quanto più possibile quantitativo.

Il sapore di un cibo (o una bevanda) è definibile come la combinazione di diverse sensazioni: oltre al gusto e all'aroma, che hanno il ruolo più importante, vi sono anche sensazioni chemestetiche (sensazione di caldo, freddo o dolore) e sensazioni tattili, visive e anche uditive, oltre ad aspetti più fisiologici e psicologici.[6]

Il gusto ha origine dalla presenza di molecole idrofile solubili nella saliva che interagiscono con specifici recettori nella bocca, raggruppati in strutture chiamate papille gustative, presenti sulla superficie della lingua, e in parte nell'epitelio del palato.[7]

Solo cinque sensazioni sono percepibili da questi recettori e sono: dolce, salato, acido, amaro e umami, ascrivibili a poche tipologie di composti. A questi cinque sapori si affiancano le sensazioni chemestetiche del dolore, la sensazione di astringenza e quella di caldo o freschezza che sono più imputabili al senso del tatto che del gusto, ma vengono comunque percepite nella bocca durante la masticazione (Figura 4).[8]

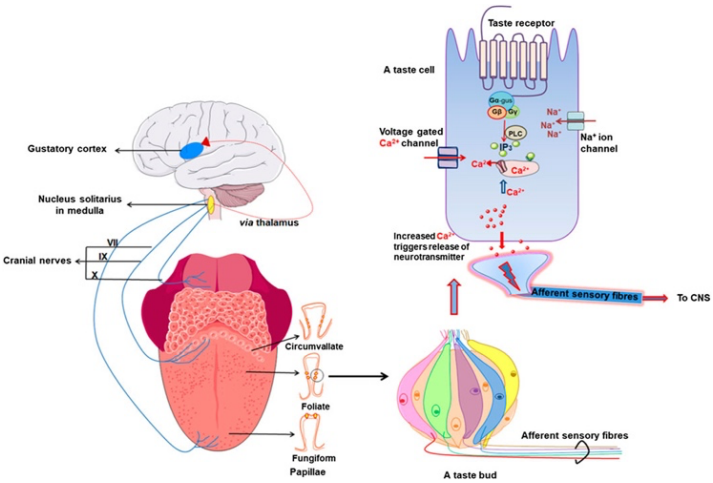

Figura 4 Schema del funzionamento del senso del gusto[10]

I recettori della cavità nasale presenti nell'epitelio olfattivo sono di più di 400 e ciascuno può legare diversi tipi di molecole, con i meccanismi che ancora non sono ben chiari.[9]

Si stima che il numero di molecole odorose possa essere dalle 10000 a molte di più; questi recettori, avendo più di un sito in cui le varie molecole odorose possono legarsi, generano un segnale diverso a seconda della diversa interazione con la molecola. Le molecole possono legarsi a tipi di recettori diversi. Questo meccanismo genera segnali diversi, che il cervello può interpretare così in modo più complesso rispetto a un riconoscimento univoco tra recettore e molecola.[10]

Sebbene ci siano delle proposte di modelli per predire se una molecola sia odorosa o meno[11–13] e nonostante esistano dei database (FlavourDB, FoodDB, Flavournet)[14–16] sui composti odorosi e le loro caratteristiche, la correlazione tra l'aroma di un composto e la sua percezione non è così immediata e non si è ancora capito completamente come la percezione di un aroma sia influenzata dagli altri componenti che si liberano durante lo sminuzzamento del cibo e i momenti subito successivi, in cui si hanno interazioni anche con la matrice del cibo da cui provengono i composti volatili. C'è da considerare, inoltre, come in realtà centinaia di molecole odorose contribuiscano all'aroma di un cibo, talvolta con effetti di mascheramento dell'odore di una molecola ad opera di altre più concentrate, che quindi ne sovrastano la percezione, oppure effetti di rafforzamento della sensazione che una molecola dà, a causa della similarità tra le sensazioni che producono le diverse molecole.[1]

Infine, altro elemento importante da considerare nell'analisi della percezione odorosa è il tempo: la sensazione odorosa ha una durata nello spazio della degustazione che può essere variabile durante la masticazione, la deglutizione e anche dopo sotto forma di retrogusto. Essa può essere valutata dal momento dell'introduzione del boccone a 1-2 secondi dopo la deglutizione, ma anche dopo più bocconi consecutivi, poiché questo approccio può modificare la percezione gustativa, a causa dell'accumulo di percezioni sensoriali che questo comporta.[17]

Metodi sensoriali

Allo scopo di valutare la percezione che alcune molecole o alcuni cibi o bevande provocano, sono state sviluppate delle metodologie di analisi che riportassero la percezione che questi provocano in funzione del tempo trascorso dall'introduzione del campione in bocca. Tra queste le tre più importanti sono: la valutazione *Time-Intensity* (TI), la *Temporal Dominance of Sensations* (TDS) e la *Temporal Check-All-That-Apply* (TCATA).

La prima di queste metodologie è stata anche la prima ad essere sviluppata: è basata sull'indicazione da parte di un panel di assaggiatori addestrati, l'andamento della percezione di un unico attributo selezionato, in modo continuo e quantitativo nel tempo; analizzando la curva prodotta dall'analisi sensoriale i dati vengono poi elaborati prendendo tipicamente in considerazione l'intensità massima dell'attributo, il tempo impiegato per arrivare all'intensità massima e l'area sotto la curva.

A causa della complessità nel seguire la percezione di un solo sapore continuativamente nel tempo, la misura viene fatta per un attributo alla volta e per questo sarà necessario ripetere la degustazione più volte per valutare più attributi individualmente.

A causa di ciò, questa tipologia di analisi presenta problematiche sia di costo che di tempo. Inoltre, c'è bisogno di un addestramento rigoroso del panel che sarà incaricato dell'analisi. Tipicamente, in questo tipo di analisi sensoriali focalizzate su un solo attributo, si assiste a un fenomeno definito *halo-dumping*, per il quale vengono attribuite percezioni sbagliate o influenzate da altri attributi rispetto a quello in esame.

Per alleviare questo effetto si è cominciato a valutare due parametri contemporaneamente, invece che uno solo (*dual attribute* TI o DATI). Questo metodo non è in grado di valutare nella sua interezza la degustazione di un cibo, ma se non altro può dimezzare il tempo di analisi rispetto al metodo precedente e inoltre risulta utile quando è necessario fare confronti tra due attributi diversi.

Per ovviare all'effetto *halo-dumping*, si è provato a fare una misura discontinua (DTI), in cui la percezione venisse valutata solo in specifici momenti della degustazione, riuscendo così non solo a diminuire se non eliminare l'effetto *halo-dumping*, ma trovando anche un metodo di misura efficace per una valutazione della percezione in lunghi periodi (per l'analisi di fenomeni di persistenza di un gusto ad esempio). Questo metodo discontinuo intensità-tempo è considerato poco efficace nella valutazione del sapore in brevi periodi di tempo, dato il numero di dati molto più ridotto rispetto a una misura continua, che porta quindi a una minor accuratezza.

Per semplificare i problemi che sono insorti con le analisi di più descrittori contemporaneamente e permettere una contemporanea analisi delle molecole liberate nella cavità retronasale tramite analisi strumentali, sono stati sviluppati metodi più qualitativi come il *Temporal Dominance of Sensations* (TDS).

Il TDS introduce il concetto di "dominanza" di una sensazione (Figura 5), è un concetto complesso e non univocamente definito.[18] Lo standard ISO per definire il profilo sensoriale[19] stabilisce la dominanza nelle analisi di tipo TDS come "la sensazione che attira l'attenzione del valutatore ad un dato tempo, senza che questa sensazione debba essere molto o la più intensa nel prodotto". Definito questo concetto, il metodo TDS consiste nella scelta da parte di un panel di una serie di attributi considerati caratteristici di un certo prodotto, i quali durante la degustazione dovranno essere selezionati man mano che uno più di questi diventano dominanti e deselezionati quando non lo rimangono. L'intensità di questi non è considerata rilevante e non viene valutata. Alla fine dell'analisi sarà possibile creare così delle curve per ogni attributo di tipo *time/dominance rate* nelle quali la dominanza aumenta all'aumentare del numero di valutazioni di tutti i valutatori per quell'attributo allo stesso momento.[20]

Questa metodologia ha lo svantaggio di avere solo un limitato numero di descrittori tra cui scegliere e inoltre si ha una perdita dei dati derivanti dal singolo panelist, poiché i dati considerano tutti i valutatori insieme.

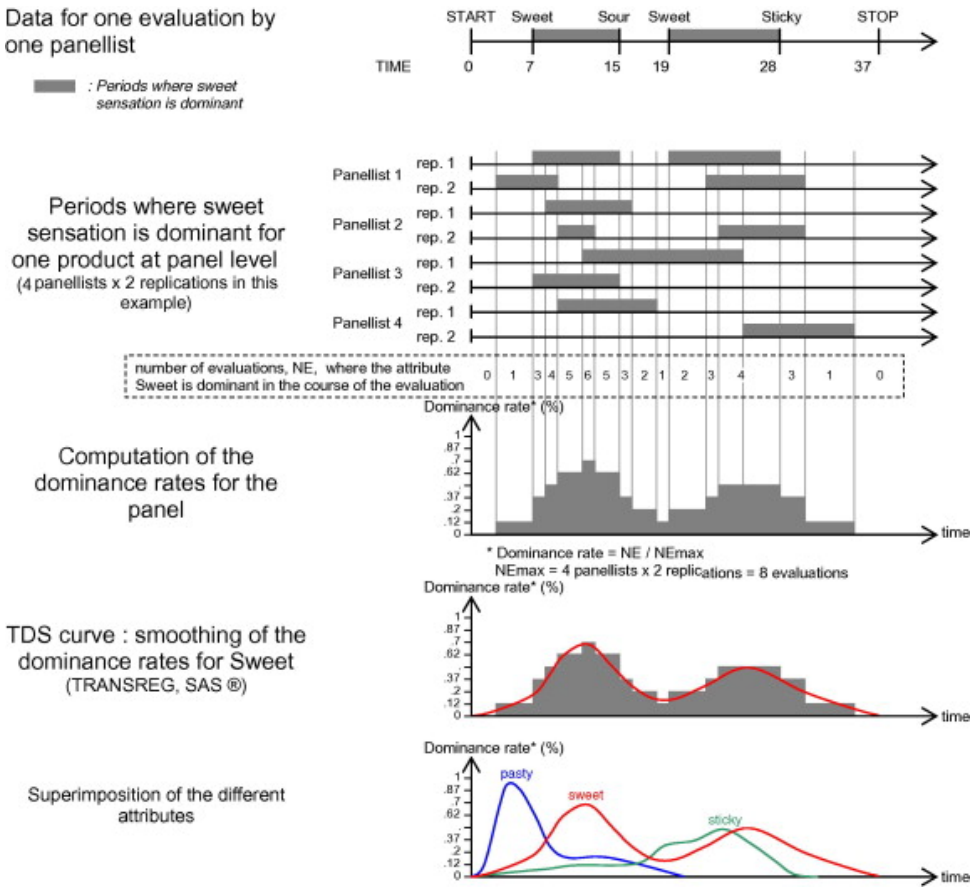

Figura 5 Costruzione delle curve per ogni attributo nella TDS[22]

L'ultimo metodo è il *Temporal Check-All-That-Apply* (TCATA), che prevede di indicare tutti gli attributi percepiti in un dato momento, scelti da una lista di essi, in modo simile a come avviene per la metodologia TDS, ma senza considerare la loro dominanza. Questo ultimo metodo è risultato in grado di distinguere diversi campioni in maniera simile alla TDS.[1]

Metodi strumentali

Per riuscire ad osservare quali molecole sono coinvolte nella sensazione odorosa, sono state sviluppate tecniche che permettono di rilevare nel corso del tempo quali molecole e in che concentrazione queste raggiungono la cavità nasale durante la degustazione attraverso la via retronasale.

Sono possibili tecniche di analisi di frazioni discontinue di aria espirata in un determinato momento della degustazione, facendo adsorbire il campione su fibre di microestrazione in fase solida (*Solid-Phase Microextractio*n, SPME). Queste fibre possono poi venire scaldate in un apparato di gas cromatografia accoppiato con spettrometro di massa e il campione così può venire analizzato.

Questo metodo di analisi presenta lo svantaggio di avere una bassa sensibilità, oltre che essere una misura di tipo discontinuo e viene quindi utilizzato per l'analisi di modelli con abbondanza di sostanza aromatiche.

Le tecniche di spettrometria ad iniezione diretta (DIMS) sono tecniche che permettono invece analisi in maniera continua e tempi di analisi brevi. Si tratta di metodologie che prelevano la frazione volatile di un alimento utilizzando ionizzazione chimica (CI) di tipo soft a pressione atmosferica o sub-atmosferica come *Atmospheric Pressure Chemical Ionization* (APCI), reazioni di trasferimento di protone (PTR) o la *Selected Ion Flow Tube* (SIFT).

In queste tecniche le molecole vengono ionizzate con trasferimento protonico dallo ione H_3O^+: poiché l'affinità del protone per queste molecole volatili è più alta rispetto a quella per l'acqua e per i costituenti dell'aria, vengono protonate preferenzialmente solo le molecole di interesse; inoltre, questa tecnica strumentale ha caratteristiche di velocità, risposta e frammentazione delle molecole compatibile con analisi in vivo.
Le differenze tra questi tre metodi dipendono dal sito in cui avviene la ionizzazione: nel caso degli strumenti di tipo APCI la sorgente in cui vengono prodotti gli ioni H_3O^+ e il sito in cui avviene la ionizzazione delle molecole target sono vicini. Nel caso del PTR la protonazione dell'acqua avviene in una camera separata alla ionizzazione del campione, con il vantaggio di avere un controllo maggiore sulla reazione.
Il sistema di ionizzazione SIFT è simile a quello PTR, con la differenza che la ionizzazione avviene in un tubo di flusso, avendo il vantaggio ulteriore di poter studiare in questo apparato anche i coefficienti di reazione tra ioni reagenti e analiti neutri, con lo svantaggio però di diluire il campione con il gas di trasporto, diminuendo la sensibilità della tecnica.
Poiché i composti odorosi che raggiungono la cavità nasale sono in quantità esigua, è importante che la sensibilità dello strumento sia sufficientemente alta: solo tra lo 0,1 e il 10% dei composti odorosi nel cibo di partenza arriva nella cavità nasale. A questo proposito, si è osservato come alcuni analizzatori fossero più indicati di altri per questo tipo di analisi: nonostante i primi analizzatori utilizzati siano stati analizzatori a quadrupolo, sono presto sorte limitazioni in termini di tempo di risoluzione e analisi di più di uno ione, poiché il tempo richiesto per un numero di ioni elevato diveniva troppo alto. Al contrario gli analizzatori a trappola ionica o a tempo di volo sono risultati ottimi in quanto garantiscono velocità nelle scansioni anche nel caso di scansioni con molti ioni e nel caso dell'ultimo riescono a separare gli isobari, ossia i composti che hanno uguale massa, ma non sono strutturalmente correlati.[1]

Influenze chimiche tra vino e formaggio

Prima di poter iniziare a valutare gli abbinamenti tra vino e formaggio (o più in generale tra due cibi o un cibo e una bevanda), la domanda da porsi è come valutare "di successo" un abbinamento rispetto a un altro e successivamente determinare quali possano essere i criteri di abbinamento.
Una prima teoria riguardo all'appaiamento è stata presentata nel 2002 da H. Blumenthal e F. Benzi,[21] i quali ipotizzavano come chiave dell'appaiamento del cibo fossero i composti aromatici in comune: più due cibi avessero avuto dei composti aromatici in comune e migliore sarebbe stato il loro sapore se gustati insieme.[21]
Sulla scia di questa teoria, si è indagato se avesse fondamento analizzando database di ricette già esistenti, andando a ricercare la somiglianza tra le sostanze aromatiche presenti negli ingredienti da cui erano formate: in questo modo si è potuto avere un riscontro immediato, senza tuttavia avere una misura diretta della qualità del loro abbinamento e senza avere dati precisi riguardo il limite di rilevabilità delle sostanze aromatiche e della loro concentrazione negli alimenti. Sorprendentemente, nei piatti di alcune culture questa similarità aromatica veniva rispettata, mentre in quelli di altre no.[22]

In successivi studi si è anche analizzato direttamente il grado di gradimento degli abbinamenti. In particolare, Eschevins *et al.*[23]. hanno svolto ricerche riguardo il gradimento di determinati abbinamenti collegandolo alla "similarità aromatica" di ciascuno, aromatizzati in modo da poter controllare concentrazione e limiti di rivelabilità: non si sono evidenziate preferenze da parte del panel per gli abbinamenti con la maggiore similarità, portando definitivamente a provare come la teoria della similarità molecolare non sia un criterio così forte da prendere in considerazione nell'ambito degli appaiamenti.
Sulla base di ulteriori ricerche[24,25] si è giunti alla conclusione che le caratteristiche puramente chimiche nell'aroma di un alimento non sono l'unico fattore quando si cerca la migliore combinazione di ingredienti, ma grande importanza hanno anche la disponibilità locale e l'esposizione delle persone a certi abbinamenti. Inoltre, è risultato chiaro come anche la tradizione, la texture e il gusto personale abbiano un'influenza importante.
È necessario poi definire cosa sia una buona combinazione e come misurare il grado di gradimento di una determinata coppia.
Sono state date nel tempo varie definizioni: Harrington e Hammond[26] hanno descritto un "non-match" come "una interazione negativa tra cibo e vino" quando gustati insieme e una "combinazione sinergica" come un "effetto gastronomico ideale e superiore".
Successivamente è stato proposto un altro tipo di valutazione, che prevede la valutazione di specifiche categorie di appaiamento, valutate ciascuna con un punteggio da 0 a 10, dove 5 rappresentava la perfetta armonicità dell'appaiamento, un punteggio inferiore rappresentava un appaiamento in cui uno dei due elementi risultasse troppo debole nella coppia e un punteggio superiore rappresentava un appaiamento in cui questo, invece, avesse un effetto troppo forte sull'altro.
L'armonia dell'accoppiamento in questo caso è stabilita come un appaiamento in cui un cibo non è più intenso dell'altro.[27]
In altri lavori è stata individuata la complessità come parametro che definisce il successo di una combinazione, spiegata come "livello di complessità ottimale" (né troppo alta né troppo bassa).
È stato evidenziato tuttavia come la complessità non sia una proprietà intrinseca del cibo e nemmeno di facile definizione, in quando dipende sia dal prodotto analizzato che dal grado di "accettazione della complessità" dell'assaggiatore.
Nel lavoro di Kustos *et al.*[28] gli autori si sono concentrati sull'abbinamento di cibo con il vino in particolare, identificando come la perfetta armonicità nell'appaiamento tra cibo e vino non sia stato un fattore considerato ideale da parte dei valutatori, in quanto giudicata molto negativamente per l'apprezzamento dell'appaiamento, preferendo invece appaiamenti nei quali il vino fosse leggermente dominante. Inoltre, nello stesso lavoro viene fatto notare come la complessità risulti apprezzata in un abbinamento. Nelle conclusioni, infine, viene evidenziato come mediamente l'apprezzamento dell'appaiamento sia determinato dal cibo degustato assieme al vino, in quanto il cibo è in grado di sopraffare gli attributi del vino; questo è spiegabile tenendo conto del fatto che il vino è una soluzione idroalcolica, che mescolandosi al cibo nella bocca ne aumenta la viscosità, con lo svantaggio però di ridurre i sapori, gli aromi e le sensazioni tattili derivanti solo dal vino; l'appaiamento ha aumentato il gradimento del vino e l'aumento della complessità, indicando come cibo e vino esprimessero una interazione sinergica, nonostante si è fatto notare come il bilanciamento tra le intensità degli aromi e del sapore tra i componenti dell'abbinamento possa rimanere un criterio per prevedere combinazioni di successo, ma non il solo da prendere in considerazione. Ultimo criterio utile è la complessità di cibo e vino, che se adeguatamente misurata può essere un buon indicatore per prevedere quando un abbinamento risulterà adeguato.

Come visto quindi non solo non è possibile definire una regola puramente chimica per l'appaiamento, ma non esiste neppure un modo univoco per definire come valutare cosa sia un appaiamento di successo.[25]
È possibile tuttavia trarre alcune considerazioni di carattere generale andando ad individuare come alcuni costituenti di cibo e vino possano avere interazioni tra loro, risultando in una modifica della percezione rispetto all'alimento da solo. In particolare, la sensazione di astringenza è una delle caratteristiche fondamentali del gusto di molti vini. Essa ha origine dalla componente tannica dei vini, polifenoli che possono essere esteri dell'acido gallico o policatechine. Queste molecole hanno la capacità di legarsi alle proteine salivari definite "ricche di prolina" (proline rich proteins, PRP), facendole precipitare (Figura 6). Queste proteine, nella saliva hanno la funzione di lubrificanti delle mucose della bocca e una volta sequestrate dai tannini e precipitate lasciano una sensazione vellutata o di secchezza nella bocca, a seconda della concentrazione e del tipo di tannini che le sequestrano. Questa sensazione perdura fino a quando non si ha un nuovo apporto di saliva e le mucose tornano ad essere lubrificate[29]

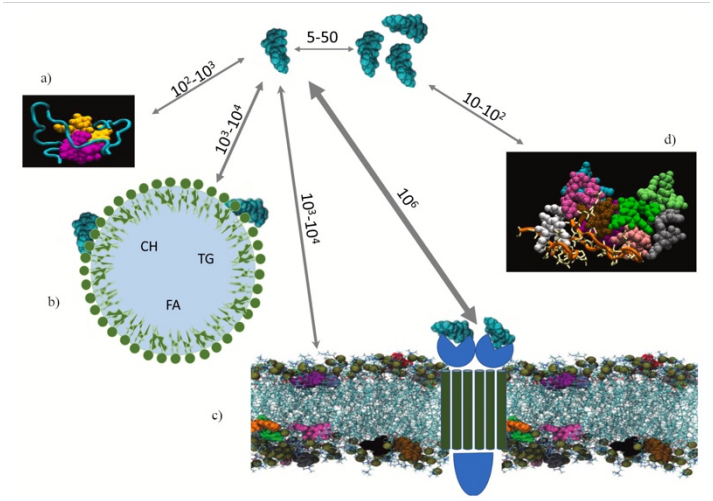

Figura 6 Come i polifenoli interagiscono in bocca: a), d) polifenoli interagenti con PRP; b) interazione tra micelle lipidiche e polifenoli; c) polifenoli legati ai fosfolipidi della membrana buccale e ai recettori del gusto. [29]

Inoltre, i polifenoli sono responsabili nel causare alterazione nella fluidità delle membrane buccali non cheratinizzate, a causa della loro affinità con la parte lipidica di queste membrane. In esse si ancorano i recettori del gusto e per l'effetto dei polifenoli è plausibile che vengano destabilizzati.
È stato dimostrato come i tannini, oltre che con i lipidi di membrana, interagiscano anche con modelli di lipidi che mimano la struttura dei d*roplet* di lipidi presenti nella frazione grassa del cibo. Questa interazione suggerisce una spiegazione al cosiddetto "Camembert effect": infatti si usa abbinare formaggi molto grassi (come il camembert appunto) per mitigare l'astringenza di alcuni vini molto tannici. Quest'ipotesi è stata confermata facendo bere una miscela di tannini edibili con aggiunta di olio di semi d'uva, olio d'oliva o olio di colza, confermando che la sensazione astringente spariva completamente.[30]
Un altro effetto dei lipidi, tuttavia, è quello del trattenere meglio i composti aromatici, che solitamente sono composti con coefficiente di ripartizione maggiore di 1, indicando una loro maggior idrofobicità piuttosto che idrofilicità. Questa osservazione ci permette quindi di fare delle scelte più ragionate riguardo all'abbinamento tra un vino tannico e un formaggio molto grasso, in quanto il vino deve essere anche ragionevolmente aromatico, per evitare che il formaggio "spenga" insieme alla sensazione astringente, anche la sua componente aromatica, nel caso in cui questa sia già poco presente.

Un'altra interazione interessante è quella che può avere il sale, presente in varia quantità nei diversi formaggi. È ben conosciuto l'effetto di "salting out" legato alla liberazione di maggior quantità di aromi in presenza di alcuni composti non volatili in bocca, tra cui anche il cloruro di sodio. Questo effetto è dovuto alla mobilitazione dell'acqua di idratazione ad opera dei sali disciolti, che porta quindi alla più difficile idratazione di molecole già di per sé volatili, con conseguente modifica della

loro concentrazione nell'aria. Ne risulta quindi un aumento della volatilità di queste molecole rispetto a quando il sale non è presente.[6]
Questo è uno dei motivi per i quali al sale è sempre stato attribuito il potere di "migliorare il sapore dei cibi" ed anche in virtù di questa sua proprietà ha avuto grande valore durante tutta la storia dell'uomo. Potrebbe quindi essere una spiegazione a quanto osservato da *Galmarini et al.*[31,32]: nei loro studi hanno indagato con metodologia TDS e una valutazione di l'impatto di vari tipi di vini su vari altri tipi di formaggio e viceversa, con degustatori non professionisti. Ne è emerso come il formaggio avesse un impatto positivo o al più neutro sul vino degustato, mentre l'impatto del vino sul formaggio è risultato molto più blando. L'effetto del sale potrebbe avere, insieme ad altre componenti, un ruolo importante in questa differenza di comportamento, in particolare quando l'assaggio del formaggio si è mostrato in grado di aumentare alcune sensazioni aromatiche già presenti nel solo vino, rendendole maggiormente dominanti.
Il sale ha anche numerosi effetti sul sapore, oltre che sull'aroma: oltre ad avere di per sé un sapore salato, è da tempo noto come il sale migliori la consistenza percepita, esalti la dolcezza e mascheri gusti indesiderati o metallici.[33]
Un fattore importante nel miglioramento del gusto del cibo da parte del sale sta nella diminuzione della percezione del sapore amaro ad opera del cloruro di sodio. Infatti, è stato dimostrato come questo sia in grado di diminuire di molto la sensazione di amaro data da vari tipi di composti, senza che vi sia l'effetto inverso, ovvero senza che il sapore salato venisse diminuito in maniera rilevante.[34] Le molecole che nel vino danno sapore amaro sono prevalentemente i tannini e l'etanolo: da questo si può ricavare l'accortezza di abbinare formaggi spiccatamente salati con vini molto tannici o molto alcolici.

Conclusioni

L'ambito della chimica degli alimenti si è sicuramente un ambito molto vasto ed esplorato in maniera limitata. Nonostante l'abbinamento tra vino e formaggio sia radicato nelle tradizioni culinarie occidentali, ricavarne principi chimici che si traducano in regole di massima per abbinamenti di cibi e vini non è un obbiettivo che ad oggi sia stato ancora soddisfatto. Se si può dire che i meccanismi del gusto siano tutto sommato abbastanza compresi, almeno nei principi generali, rendendo più facilmente analizzabile la parte puramente del gusto, la grande componente olfattiva di un alimento è fonte di grande complessità, data dalla quantità e dalla varietà delle interazioni possibili con le diverse molecole odorose nel cibo. Essendo queste interazioni non ancora ben comprese è difficile prevedere quali molecole diano determinate interazioni, portando a una percezione del loro aroma che differisce molto a seconda della concentrazione della sostanza, ma anche della sua interazione con altre sostanze prese in esame o dalla stessa interpretazione che il cervello dà in base ai diversi input che riceve, portando anche a effetti di mascheramento o rafforzamento di un aroma, anche a parità di concentrazione di una stessa molecola se vi è copresenza di un'altra molecola che ha il potere di mascherare o esaltare la percezione della stessa.
In questo contesto, che risulta difficile già quando si parla di poche molecole, definire le caratteristiche e le interazioni chimiche dei costituenti di un cibo è estremamente complesso. Ancora più arduo diventa stabilire delle regole per abbinare due categorie di prodotti che comprendono al loro interno tipologie molto vaste di componenti, ciascuno con le sue caratteristiche peculiari. Se alcune interazioni tra i costituenti dei due prodotti sono risultate essere puramente chimiche e direttamente e facilmente coinvolte nella modifica della loro mutua percezione, molte altre interazioni sono sconosciute e non sempre è facile capire come un'interazione sia collegata alla percezione dell'accoppiamento nel suo insieme.

Infine subentra una forte componente di soggettività dell'assaggiatore, che complica ancora di più l'analisi: infatti, non soltanto vi è una soggettiva variabilità nella percezione di ciascuno degli aromi e dei sapori, ma lo scoglio più grosso è definire in maniera univoca quali caratteristiche debbano definire lo standard per individuare un abbinamento desiderato o di successo, che comunque risulta avere una grande soggettività non solo dovuta alle caratteristiche peculiari di ciascun individuo, ma anche a differenti culture e contesti, argomenti che si intrecciano quindi con la componente culturale e psicologica del gradimento di un sapore o di un abbinamento di sapori. Nei vari studi esaminati si è cercato di dare alcune definizioni utili a guidare l'assaggiatore nel dare un giudizio basato su parametri che risultassero meno soggettivi e più oggettivi, proprio per limare il più possibile la componente non misurabile di questi fenomeni.
Oltre a tutti questi limiti, lo studio di interazioni molecolari specifiche per quanto riguarda vini e formaggi è molto limitato e in ultima analisi non conclusiva, rivelando un campo molto vasto che dovrà essere esplorato, per conoscere meglio come i due alimenti interagiscano.

Bibliografia

(1) Le Quéré, J.-L.; Schoumacker, R. Dynamic Instrumental and Sensory Methods Used to Link Aroma Release and Aroma Perception: A Review. Molecules 2023, 28 (17), 6308. https://doi.org/10.3390/molecules28176308.

(2) Cappelli, P.; Vannucchi, V. Chimica Degli Alimenti, 3a ed.; Zanichelli: Bologna, 2005.

(3) Jollés, J.; Alais, C.; Jollès, P. The Tryptic Peptide with the Rennin-Sensitive Linkage of Cow's κ-Casein. Biochim. Biophys. Acta BBA - Protein Struct. 1968, 168 (3), 591–593. https://doi.org/10.1016/0005-2795(68)90199-2.

(4) Schievano, E. Appunti Del Corso Di Chimica Degli Alimenti, 2020.

(5) Burdock, G. A. Fernaroli's Handbook of Flavor Ingredients, 6th ed.; Boca Raton, 2009.

(6) Sinding, C.; Thibault, H.; Hummel, T.; Thomas-Danguin, T. Odor-Induced Saltiness Enhancement: Insights Into The Brain Chronometry Of Flavor Perception. Neuroscience 2021, 452, 126–137. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.10.029.

(7) Duizer, L. M.; Field, K. Changes in Sensory Perception during Aging. In Modifying Food Texture – Sensory Analysis, Consumer Requirements and Preferences; J. & Rosenthal, A.; Vol. 2.

(8) Wang, P.; Ye, X.; Liu, J.; Xiao, Y.; Tan, M.; Deng, Y.; Yuan, M.; Luo, X.; Zhang, D.; Xie, X.; Han, X. Recent Advancements in the Taste Transduction Mechanism, Identification, and Characterization of Taste Components. Food Chem. 2024, 433, 137282. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137282.

(9) Billesbølle, C. B.; De March, C. A.; Van Der Velden, W. J. C.; Ma, N.; Tewari, J.; Del Torrent, C. L.; Li, L.; Faust, B.; Vaidehi, N.; Matsunami, H.; Manglik, A. Structural Basis of Odorant Recognition by a Human Odorant Receptor. Nature 2023, 615 (7953), 742–749. https://doi.org/10.1038/s41586-023-05798-y.

(10) Buck, L.; Axel, R. A Novel Multigene Family May Encode Odorant Receptors: A Molecular Basis for Odor Recognition. Cell 1991, 65 (1), 175–187. https://doi.org/10.1016/0092-8674(91)90418-X.

(11) Jaubert, J.-N.; Tapiero, C.; Dore, J. C. The Field of Odors: Toward a Universal Language for Odor Relationships. Perfum. Flavorist 1995, 20, 1–16.

(12) Hahn, I.; Scherer, P. W.; Mozell, M. M. A Mass Transport Model of Olfaction. J. Theor. Biol. 1994, 167 (2), 115–128. https://doi.org/10.1006/jtbi.1994.1057.

(13) Mayhew, E. J.; Arayata, C. J.; Gerkin, R. C.; Lee, B. K.; Magill, J. M.; Snyder, L. L.; Little, K. A.; Yu, C. W.; Mainland, J. D. Transport Features Predict If a Molecule Is Odorous. Proc. Natl. Acad. Sci. 2022, 119 (15), e2116576119. https://doi.org/10.1073/pnas.2116576119.

(14) FlavorDB. https://cosylab.iiitd.edu.in/flavordb/ (accessed 2024-02-07).

(15) FooDB. https://foodb.ca/ (accessed 2024-02-07).

(16) Flavornet. https://www.flavornet.org/flavornet.html (accessed 2024-02-07).

(17) Visalli, M.; Galmarini, M. V. Multi-Attribute Temporal Descriptive Methods in Sensory Analysis Applied in Food Science: Protocol for a Scoping Review. PLOS ONE 2022, 17 (7), e0270969. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270969.

(18) Varela, P.; Antúnez, L.; Carlehög, M.; Alcaire, F.; Castura, J. C.; Berget, I.; Giménez, A.; Næs, T.; Ares, G. What Is Dominance? An Exploration of the Concept in TDS Tests with Trained Assessors and Consumers. Food Qual. Prefer. 2018, 64, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.10.014.

(19) 14:00-17:00. ISO 13299:2016. ISO. https://www.iso.org/standard/58042.html (accessed 2024-03-01).

(20) Pineau, N.; Schlich, P.; Cordelle, S.; Mathonnière, C.; Issanchou, S.; Imbert, A.; Rogeaux, M.; Etiévant, P.; Köster, E. Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS Curves and Comparison with Time–Intensity. Food Qual. Prefer. 2009, 20 (6), 450–455.

https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.04.005.
(21) de Klepper, M. Food Pairing Theory: A European Fad. Gastronomica 2011, 11 (4), 55–58. https://doi.org/10.1525/gfc.2012.11.4.55.
(22) Ahn, Y.-Y.; Ahnert, S. E.; Bagrow, J. P.; Barabási, A.-L. Flavor Network and the Principles of Food Pairing. Sci. Rep. 2011, 1 (1), 196. https://doi.org/10.1038/srep00196.
(23) Eschevins, A.; Giboreau, A.; Allard, T.; Dacremont, C. The Role of Aromatic Similarity in Food and Beverage Pairing. Food Qual. Prefer. 2018, 65, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.005.
(24) Spence, C.; Wang, Q. J.; Youssef, J. Pairing Flavours and the Temporal Order of Tasting. Flavour 2017, 6 (1), 4. https://doi.org/10.1186/s13411-017-0053-0.
(25) Galmarini, M. The Role of Sensory Science in the Evaluation of Food Pairing. Curr. Opin. Food Sci. 2020, 33, 149–155. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.003.
(26) Harrington, R. J.; Hammond, R. The Direct Effects of Wine and Cheese Characteristics on Perceived Match. J. Foodserv. Bus. Res. 2006, 8 (4), 37–54. https://doi.org/10.1300/J369v08n04_04.
(27) Cerretani, L.; Biasini, G.; Bonoli-Carbognin, M.; Bendini, A. Harmony of Virgin Olive Oil and Food Pairing: A Methodological Proposal. J. Sens. Stud. 2007, 22 (4), 403–416. https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2007.00115.x.
(28) Kustos, M.; Heymann, H.; Jeffery, D. W.; Goodman, S.; Bastian, S. E. P. Intertwined: What Makes Food and Wine Pairings Appropriate? Food Res. Int. 2020, 136, 109463. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109463.
(29) Dufourc, E. J. Wine Tannins, Saliva Proteins and Membrane Lipids. Biochim. Biophys. Acta BBA - Biomembr. 2021, 1863 (10), 183670. https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2021.183670.
(30) Saad, A.; Bousquet, J.; Fernandez-Castro, N.; Loquet, A.; Géan, J. New Insights into Wine Taste: Impact of Dietary Lipids on Sensory Perceptions of Grape Tannins. J. Agric. Food Chem. 2021, 69 (10), 3165–3174. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06589.
(31) Galmarini, M. V.; Loiseau, A.; Debreyer, D.; Visalli, M.; Schlich, P. Use of Multi-Intake Temporal Dominance of Sensations (TDS) to Evaluate the Influence of Wine on Cheese Perception. J. Food Sci. 2017, 82 (11), 2669–2678. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13932.
(32) Galmarini, M. V.; Loiseau, A.; Visalli, M.; Schlich, P. Use of Multi-Intake Temporal Dominance of Sensations (TDS) to Evaluate the Influence of Cheese on Wine Perception. J. Food Sci. 2016, 81 (10). https://doi.org/10.1111/1750-3841.13500.
(33) Gillette M. Flavor Effects of Sodium Chloride. Food Technol. 1985, 39 (6), 47–52.
(34) Breslin, P. A. S.; Beauchamp, G. K. Suppression of Bitterness by Sodium: Variation Among Bitter Taste Stimuli. Chem. Senses 1995, 20 (6), 609–623. https://doi.org/10.1093/chemse/20.6.609.