

SEDE LEGALE

Via della Navicella 2/4 - 00184 Roma (Italy)

T +39 06 47836.1

C.F. 97231970589 **P.I.** 08183101008

Relazione dell'attività di ricerca svolta nell'ambito del contratto di collaborazione tra CREA e DIPARTIMENTO DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ "MEDITERRANEA" DI REGGIO CALABRIA (ex Art. 15) con oggetto "Caratterizzazione del profilo aromatico volatile (VOCs) della carne di bovino Podolico. -Applicazione di tecnologie rapide (SmarT Nose) per la discriminazione dei prodotti in relazione al sistema alimentare; -Analisi chemiometrica e redazione di report finale" (Lettera di incarico CREA-Registro Ufficiale N0.0873228 del 26/09/2023)

Nell'ambito del progetto, l'unità operativa CREA-ZA di Bella, si è occupata della caratterizzazione del profilo aromatico della carne cotta e dell'applicazione di tecniche chemiometriche per discriminare i prodotti in relazione al sistema di alimentazione.

L'obiettivo principale in questo progetto è fornire un innovativo contributo alla valorizzazione dei prodotti carnei, attraverso l'individuazione di indicatori che ne determinano la specificità e consentono di discriminare e autenticare il prodotto in relazione al sistema alimentare.

Il sapore della carne è un fattore chiave per i consumatori (Han, Zhang, Fauconnier e Mi, 2020). La carne cruda ha solo un aroma "sanguinante" e metallico. Gran parte delle caratteristiche aromatiche della carne che si sviluppano durante la cottura derivano dall'interazione di precursori che generano circa un migliaio di composti aromatici volatili. Tra i fattori che influenzano gli aromi della carne cotta, le caratteristiche quantitative dei lipidi hanno un'importanza rilevante.

Il contenuto di grasso e la composizione di acidi grassi nei tessuti adiposi e nel grasso intramuscolare sono influenzati dalle specie o razze da carne, dal sistema di allevamento e dalla posizione anatomica della carcassa dell'animale (GonzalesBarron et al., 2021). Diversi trattamenti come taglio, disossamento e macinazione in presenza di luce e ossigeno (de Avila et al., 2022) e conservazione congelata (Al-Dalali, Li, & Xu, 2022) e diversi i metodi di cottura (ad es. stufatura, arrosto e grigliata) (Yu, Wang, Yin, Ge e Liao, 2021) influenzano l'ossidazione dei lipidi e quindi il profilo volatile della carne. L'ossidazione e la degradazione dei lipidi sono responsabili di più della metà dei composti volatili nella carne cotta. Si ritiene generalmente che questi composti volatili contribuiscano all'aroma della carne specifico della specie (Bravo-Lamas, Barron, Farmer e Aldai, 2018). La degradazione

CREA - Centro di ricerca Zootecnia e Acquacoltura
CREA - Research Centre for Animal Production and Aquaculture

@ za@crea.gov.it f za@pec.crea.gov.it
W www.crea.gov.it

Viale Piacenza, 29 - 26900 Lodi Sede amministrativa
Via Salaria, 31 - 00015 Monterotondo (RM)
S.S. 7 Via Appia - 85051 Bella Muro (PZ)
Via Beccastecca, 345 - San Cesario sul Panaro - 41018 (MO)

T +39 0371 40471
T +39 06 900901
T +39 0976 72915
T +39 059 926268

lipidica di solito genera aldeidi alifatiche, chetoni, alcoli, acidi, esteri, ecc., responsabili dell'aroma della carne specifico della specie animale (Bassam, Noletto-Dias, & Farag, 2022; Zhao et al., 2017). Le principali vie metaboliche responsabili della formazione dell'aroma nella carne cotta sono la reazione di Maillard tra composti amminici e zuccheri riducenti e la reazione di degradazione dei lipidi (Liu et al., 2019; Zhao et al., 2017). La reazione di Maillard di solito produce composti contenenti zolfo, composti eterociclici contenenti azoto e composti eterociclici contenenti ossigeno, che contribuiscono all'aroma di base della carne. Inoltre, l'interazione tra la reazione di Maillard e la degradazione lipidica, cioè l'interazione lipido-Maillard, che può verificarsi, svolge anche un ruolo importante nella formazione dell'aroma della carne cotta (Wang et al., 2020; Zhao et al., 2017). Inizialmente, la collaborazione è stata finalizzata alla messa a punto e verifica delle metodiche per la determinazione dei composti organici aromatici volatili nella carne cotta, responsabili dell'odore e dei sapori.

La problematica della scelta opportuna di un metodo analitico, per la determinazione dei composti volatili, responsabili dell'odore e del sapore della carne cotta, è, legata alla necessità primaria di evitare che vi sia discriminazione nell'efficienza di estrazione nei riguardi di sostanze organiche volatili di natura differenti. Nel caso dello studio di aromi presenti in matrici naturali, inoltre, si doveva tener conto del fatto che la composizione quali-quantitativa è regolata da processi biochimici e che gli interventi distruttivi operati attraverso le procedure di estrazione ed isolamento inducono spesso a modifiche nei rapporti quantitativi fra i componenti aromatici.

Sulla base di questi presupposti si è scelto di utilizzare una tecnica di estrazione e concentrazione delle sostanze aromatiche detta microestrazione in fase solida SPME in spazio di testa dinamico. Tale tecnica presenta il vantaggio di non utilizzare solventi organici e quindi ridurre le manipolazioni del campione, manipolazioni che possono portare alla formazione di artefatti, di ridurre i tempi di lavorazione e preparazione del campione ed i costi di analisi.

La tecnica di concentrazione/estrazione degli analiti mediante HS-SPME prevede una prima fase di concentrazione/estrazione dei componenti volatili mediante l'esposizione allo spazio di testa di una fibra in silice fusa rivestita da un film relativamente sottile di fase stazionaria polimerica. Durante questa fase si stabilisce un equilibrio tra le concentrazioni degli analiti presenti nello spazio di testa del campione e il rivestimento dei polimeri sulla fibra. La quantità di analita adsorbita sulla fibra dipende dallo spessore del polimero e dal tempo/temperatura di esposizione; la selettività può essere alterata attraverso il cambiamento del tipo di polimero di rivestimento o del suo spessore, in quanto i composti volatili richiedono un rivestimento più spesso rispetto ai composti semivolatili (Kataoka et

al., 2000; Wardenki et al., 2004). Dopo un opportuno tempo di estrazione, la fibra viene ritirata nell'ago e rimossa dalla vial contenente il campione per essere inserita direttamente nell'iniettore del GC per la successiva fase di desorbimento. L'efficacia della preconcentrazione degli analiti usando la tecnica della SPME dipende da molti parametri come: il tipo di fibra, il volume del campione, il tempo e la temperatura di estrazione, il metodo di estrazione, il desorbimento degli analiti dalla fibra e l'eventuale aggiunta di sale. (Supelco Note 56, 1998; Zhang e Pawliszyn, 1993).

Le analisi sono state effettuate su campioni di muscol LD provenienti da vitelloni Podolici sottoposti a differenti diete di finisaggio:

C = Controllo, alimentati con un concentrato senza integrazione né di sansa di olive né di semi di lino estrusi

S = Sansa, alimentati con un mangime concentrato contenente il 30% tal quale di sansa di olive denocciolate

L = Lino, alimentati con un mangime concentrato contenente il 15% tal quale di semi di lino estrusi

SL = Sansa e Lino, alimentati con un mangime concentrato contenente il 20% di sansa di olive denocciolate e il 10% di semi di lino estrusi.

La composizione volatile della carne cotta è stata determinata utilizzando la microestrazione in fase solida (SPME), la separazione e l'identificazione è stata determinata mediante gascromatografia-accoppiata alla spettrometria di massa. 5 grammi di carne sono stati posti in una vial da 20 ml è sottoposta a cottura per 10 minuti a 140° C. Dopo cottura il campione raffreddato e sottoposto ad una agitazione a 600 rpm per 30 minuti a 40 ° C per accelerare l'equilibrio tra le concentrazioni degli analiti presenti nello spazio di testa del campione e il rivestimento polimerico della fibra (fase di equilibrio). L'adsorbimento è stato effettuato esponendo la fibra di divinilbenzene / carbossene / polidimetilsilossano da 50/30 micron (Supelco, Bellefonte, PA) nello spazio di testa della vials per 30 minuti a 40 ° C ed un'agitazione a una velocità di 600 rpm.

Il desorbimento della fibra è stato eseguito, in modalità splitless, nell'iniettore del gascromatografo a 260 C per 3 minuti. I composti organici volatili sono stati separati in gas cromatografia utilizzando una colonna HP5 (30 m 0,25 µm 0,25 µm. Le condizioni usate per l'analisi GC sono state le seguenti: gas di trasporto, elio ad una velocità di flusso di 1 ml/min, pressione iniziale 52 kPa; temperatura della colonna iniziale 40°C per 4 minuti, incremento di temperatura di 3,5°C/min fino a 240°C per 3 minuti. Le condizioni per l'analisi in spettrometria di massa sono state: sorgente ionica ad impatto elettronico, 70 eV; temperatura interfaccia 250°C, temperatura sorgente ionica 200°C; mass range da 30 a 250 amu; velocità di scansione di 0,4 scan/s. I campioni sono stati analizzati in duplicato.

L'identificazione degli spettri di massa ottenuti per ogni singolo composto è stata effettuata confrontando gli spettri presenti nelle librerie Wiley 8 e NIST10 e utilizzando il software di deconvoluzione dei picchi AMDIS 5. I risultati sono stati espressi come percentuale dell'area totale dei VOC identificati.

L'analisi dell'impronta olfattiva della carne è stata valutata utilizzando un naso elettronico (PEN3, AIRSENSE Analytics GmbH, Schwerin, Germania), che contiene 10 diversi sensori a semiconduttore di ossido metallico (MOS).

Un totale di 10 grammi di campione di carne cotta a 140°C per 10 minuti sono stati inseriti in vials con spazio di testa da 50 mL e mantenuti a 30 °C per 60 minuti prima del rilevamento. Il tempo di lavaggio è stato di 150 s, il tempo di acquisizione è stato di 150 s e l'intervallo di campionamento è stato di 1 s. L'acquisizione e l'elaborazione dei dati del naso elettronico sono state eseguite utilizzando il software per workstation Winmuster 1.6.2.18. Ogni campione è stato ripetuto otto volte e i dati con risultati di misura stabili sono stati selezionati per l'analisi statistica. La descrizione delle prestazioni e l'intervallo di sensibilità ai gas dei 10 sensori di ossidi metallici sono riportati nella Tabella 1.

Tabella 1. Sensibilità dei sensori e limiti di rilevamento per la matrice di sensori PEN3

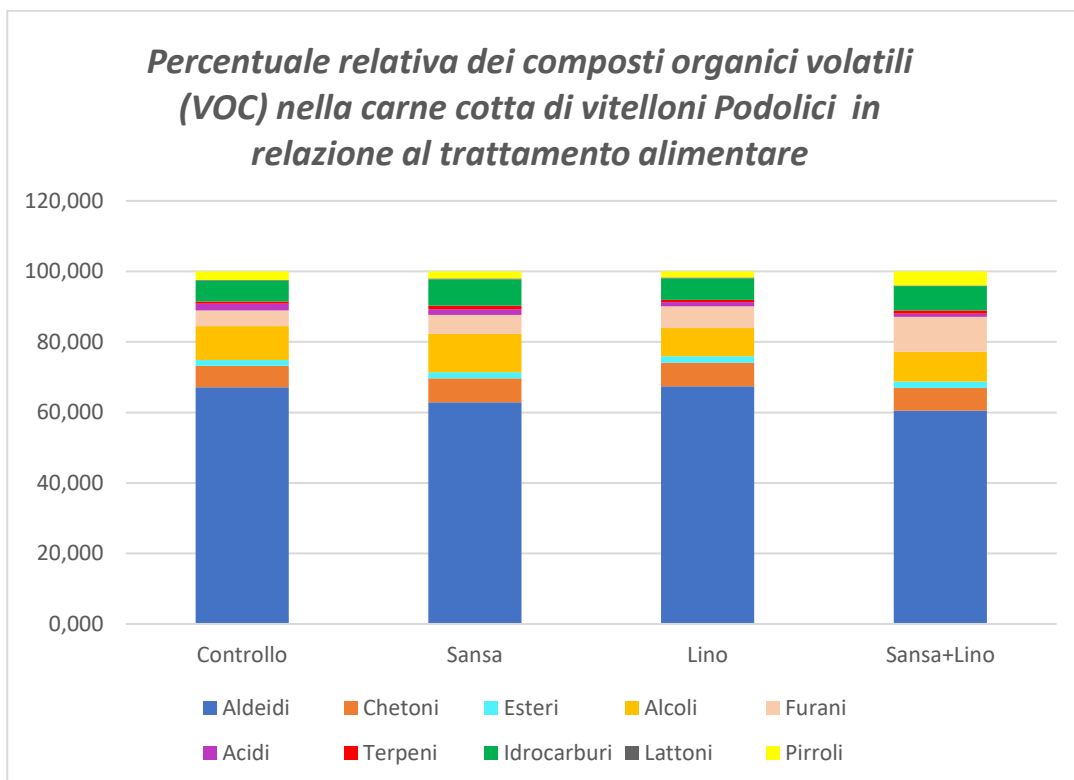
Sensor number	Sensor name ^a	Sensor description and sensitivities	Detection limits ^b
1	W1C	Aromatic organic compounds	Toluene, 10 mg kg ⁻¹
2	W5S	Very sensitive, broad range sensitivity, reacts to nitrogen oxides, very sensitive with negative signal	NO ₂ , 1 mg kg ⁻¹
3	W3C	Ammonia, also used as sensor for aromatic compounds	Benzene, 10 mg kg ⁻¹
4	W6S	Detects mainly hydrogen gas	H ₂ , 0.1 mg kg ⁻¹
5	W5C	Alkanes, aromatic compounds, and nonpolar organic compounds	Propane, 1 mg kg ⁻¹
6	W1S	Sensitive to methane. Broad range of organic compounds detected	CH ₄ , 100 mg kg ⁻¹
7	W1W	Detects inorganic sulfur compounds, e.g. H ₂ S. Also sensitive to many terpenes and sulfurcontaining organic compounds	H ₂ S, 1 mg kg ⁻¹
8	W2S	Detects alcohol, partially sensitive to aromatic compounds, broad range	CO, 100 mg kg ⁻¹
9	W2W	Aromatic compounds, inorganic sulfur and organic compounds	H ₂ S, 1 mg kg ⁻¹
10	W3S	Reacts to high concentrations (>100 mg/kg) of methane and aliphatic organic compounds	n.d.

RISULTATI

Sono stati identificati 69 composti volatili nei campioni di carne cotta (Tabella 2). I composti organici volatili (VOC) sono stati raggruppati secondo le loro famiglie chimiche: sono stati rilevati 22 aldeidi, 5 chetoni, 14 idrocarburi, 6 alcoli, 2 esteri, 4 furani, 4 acidi, 1 lattone ed 1 pirrolo. In tabella 2 sono riportati i composti identificati e la relativa percentuale in relazione al sistema alimentare

I composti più abbondanti in entrambi i gruppi sono le aldeidi che rappresentano circa il 64.48% (Figura 1).

Figura 1. Classi di composti organici totali in relazione al sistema alimentare



Le aldeidi sono principalmente prodotte dall'ossidazione dei lipidi ed un'elevata quantità di aldeidi può essere associata a una maggiore ossidazione degli acidi grassi polinsaturi (Elmore et al., 2005).

Per quanto riguarda il contenuto di aldeidi totali, i risultati evidenziano un minor contenuto di aldeidi totali ($P < 0.0001$) nella carne del gruppo alimentato con sansa rispetto agli altri 3 gruppi. Tale risultato potrebbe essere attribuito ad una maggiore stabilità ossidativa della carne del gruppo S,

dovuto a sia alla presenza di maggior contenuto di polifenoli e tocoferoli ad azione antiossidante, che ad un minor contenuto di polinsaturi nella dieta S (Tabella 4).

Le aldeidi più abbondanti in tutti gruppi sono la nonale, octanale, esanale, la benzaldeide, la docanale, la 2- decenale e la 2 undecenale. (Figura 2). Tutte le aldeidi a catena lineare (esanale, eptanale, ottanale, nonanale, decanale, undecanale, dodecanale, tetradecanale, esadecanale) provengono dalla degradazione degli acidi grassi insaturi e le aldeidi ramificate (2 e 3-metil butanale, benzaldeide, benzeneacetaldeide) derivanti dalla reazione di Maillard contribuiscono al sapore della carne grigliata (Wei et al., 2022).

La nonale, derivante dall'ossidazione dell'acido oleico, aumenta significativamente nella carne dei gruppi C, L e SL ($P < 0.0001$) rispetto alla carne del gruppo Sansa. Tale risultato, potrebbe essere attribuito ad una maggiore stabilità ossidativa della carne del gruppo S rispetto agli altri gruppi.

Il contenuto di esanale ed eptanale, derivante dall'ossidazione dell'acido linoleico (C18:2n6; Elmore et al., 2005) diminuisce significativamente nella carne del gruppo SL ($P < 0.0001$, rispettivamente) rispetto alla carne degli altri gruppi sperimentali.

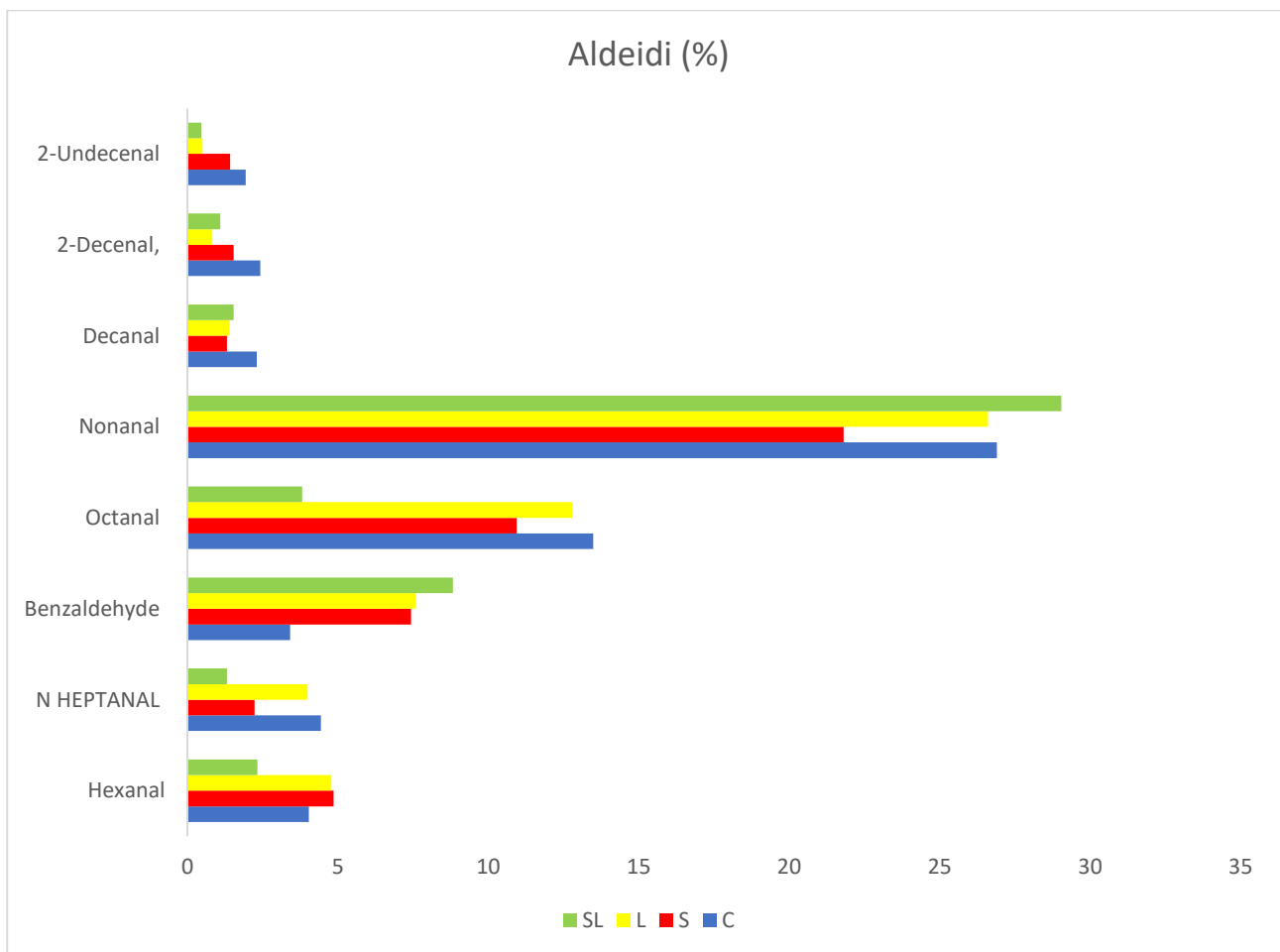
In generale, le aldeidi, con un numero di atomi di carbonio compreso tra sei e dieci, sono i principali composti volatili responsabili del sapore della carne cotta e si trovano in elevate concentrazioni in tutti i campioni sperimentali (Moran, Vivanco, Lorenzo, Barron e Aldai, 2022), la nonanale è il composto volatile più abbondante ed è responsabile del sapore di carne cotta nella specie bovina (Vilar, O'Sullivan, Kerry e Kilcawley, 2022).

Tutte le aldeidi a catena lineare (pentanale, esanale, eptanale, ottanale, nonanale, decanale, undecanale, dodecanale, tetradecanale, esadecanale) provengono dalla degradazione degli acidi grassi insaturi e le aldeidi ramificate (2 e 3-metil butanale, benzaldeide, benzeneacetaldeide) contribuiscono al sapore della carne grigliata (Wei et al., 2022).

Gli alcoli rappresentano il 9.25 % del totale dei composti identificati nei 4 gruppi sperimentali tra cui l'1- octanolo , l'1-octen 3-olo e l'1-hexanol-2 ethyl sono i composti più abbondanti. Gli alcoli presenti nella carne cotta derivano principalmente dalla degradazione dei lipidi e da prodotti secondari della riduzione di aldeidi o composti carbonilici (Bueno, Resconi, Campo, Ferreira e Escudero, 2019). La concentrazione totale di alcol rilevata è risultata elevata nella carne del gruppo alimentato con sansa ($P < 0.0001$). Il contenuto di 1-octanolo risulta minore nella carne del gruppo SL ($P < 0.0001$) rispetto agli altri 3 gruppi, 1-otten-3-olo derivante dalla β -ossidazione di acidi grassi polinsaturi a catena lunga, in particolare dall'acido linoleico presenta valori più alti nella carne del gruppo S ($P < 0.001$).

Il contenuto di chetoni totali non è influenzato dal sistema di produzione ($P < 0.005$). I chetoni più abbondanti rilevati nell'acarne dei 4 gruppi sperimentali sono il 2-eptanone, il 2-nonanone ed il 2-decanone. Grazie al loro tipico odore e al loro basso valore soglia di percezione i chetoni e soprattutto i metilchetoni sono conosciuti per il loro importante contributo nel determinismo del profilo aromatico della carne bovina cotta (Moran et al., 2022). Il 2-eptanone, il 2-nonanone ed il 2-decanone sono i composti chetonici più abbondanti in tutti i gruppi sperimentali.

Figura 2. Contenuto di aldeidi (%) in relazione al sistema alimentare



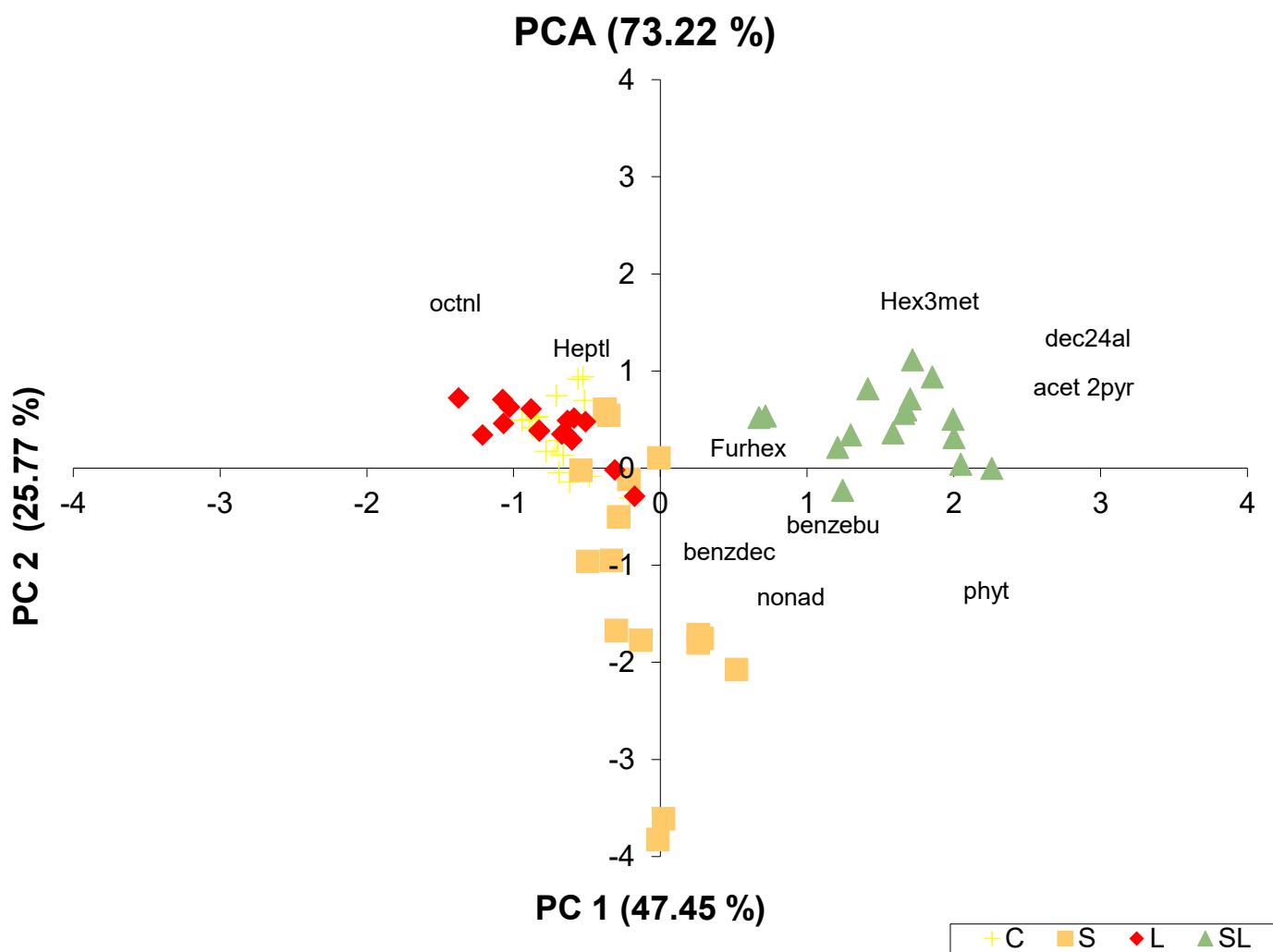
Il contenuto totale di idrocarburi aumenta nella carne del gruppo S e SL rispetto al controllo ($P < 0.001$). I principali idrocarburi identificati nella carne cotta sono ottano, dodecano, tridecano,

pentadecano, esadecano ed eptadecano e ottadecano. Gli idrocarburi a catena lunga quali pentadecano, esadecano ed eptadecano hanno un impatto minore sull'odore e provengono principalmente e dalla decarbossilazione di acidi grassi saturi a lunga catena.

Pochissimi furani sono stati riscontrati nel profilo volatile della carne di vitellone cotta (Tabella 2) tra cui l'etil furano, il pentil furano, l'esil furano e l'octil furano. Il contenuto di furani totali aumenta nella carne del gruppo SL e L. L'origine di questi composti è collegata a processi di ossidazione degli acidi grassi polinsaturi in particolare dell'acido linolenico. Il pentil furano deriva da processi di autossidazione dell'acido linolenico, mentre l'acido linoleico coniugato potrebbe produrre esilfurano, ciò indica che i tipi di alchilfurano, che si formano durante la cottura dipenderebbero in larga misura dalle posizioni della tipologia di legame degli acidi polinsaturi presenti nella carne. I furani grazie al loro basso valore soglia contribuiscono alle note di odore di arrosto nella carne cotta (Brewer, 2006).

Il contenuto del 2-acetilpirrolo, prodotto durante la cottura dalla reazione di Maillard, che coinvolge zuccheri riducenti e amminoacidi, aumenta nella carne del gruppo SL ($P < 0.0001$). Il 2-acetilpirrolo è responsabile delle note aromatiche di tostato e nocciola nella carne cotta contribuisce in modo significativo al profilo aromatico complesso di questi alimenti, esaltando le note umami e il sapore della carne.

Figura 3. PCA applicata ai di campioni di carne cotta in relazione al sistema alimentare.



Octn = ottanale, Heptl = eptanale, Hex3met = esanale 3 metile, Furhex =2-hexyl furano, dec24al= 2-4 decanediale, acet2pyr = acetil-pirrolo, benzebu=e benzene 1,1 butile , Phyt = fitane, benzdec =decil -benzene, nonaden = onadecane .

L'**analisi delle componenti principali (PCA)** è stata applicata per ridurre la dimensionalità dei dati e visualizzare le somiglianze tra i campioni. Questo metodo fornisce un nuovo insieme di variabili, ottenute come la migliore combinazione lineare dei parametri originali, in grado di catturare una maggiore varianza rispetto a qualsiasi altra combinazione. Nell'ambito della **chemometria**, la PCA consente di identificare le differenze tra i campioni e le variabili che contribuiscono maggiormente a tali differenze (Han et al., 2012).

La PCA standard è stata applicata alla composizione dei composti odorosi nei campioni di carne cotta, al fine di valutare le relazioni tra le diverse variabili e identificare i fattori di variabilità più rilevanti. Nel modello PCA sono stati inclusi solo i composti odorosi che presentavano differenze significative ($P \leq 0,05$).

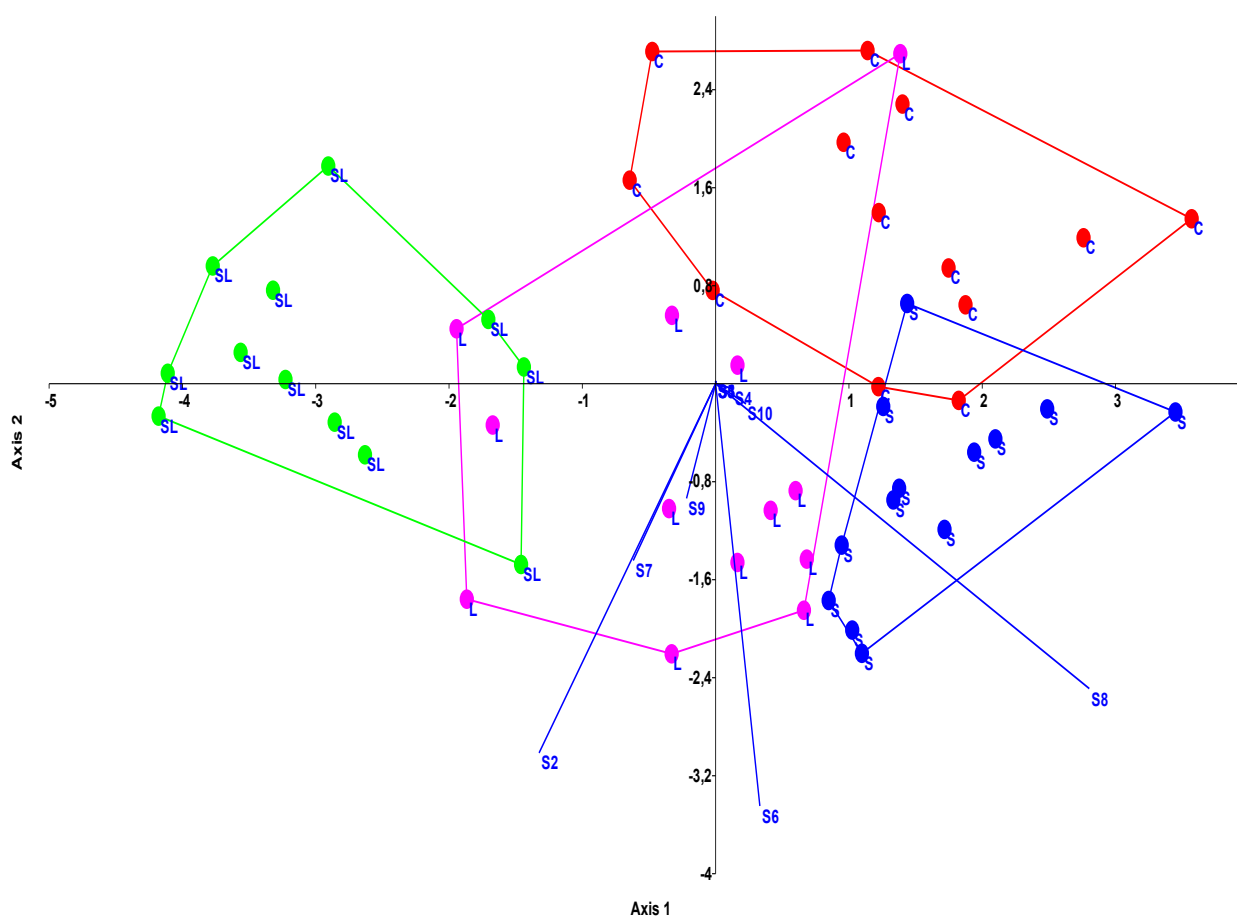
La Figura 3 mostra gli score e i loadings di correlazione ottenuti dall'analisi PCA. Gli score rappresentano i campioni di carne, mentre i loadings indicano le relazioni tra i singoli composti odorosi. Le prime due componenti principali, PC1 e PC2, spiegano complessivamente il 73,22% della varianza totale: PC1 il 47,45% e PC2 il 25,77%.

Il grafico degli score PC1 vs PC2 evidenzia che il gruppo SL è nettamente separato, mentre i gruppi Controllo, Sansa e Lino risultano parzialmente sovrapposti. Questo suggerisce che la carne proveniente da animali supplementati con sansa e lino combinati, presenta un profilo odoroso differente rispetto agli altri gruppi. Inoltre, si osserva che la supplementazione con solo sansa (S) o solo lino (L) non ha modificato significativamente il profilo aromatico della carne rispetto al gruppo controllo.

I composti organici volatili che hanno contribuito maggiormente alla variazione nell'analisi PCA sono: ottanale (loading negativo), 2-hexyl furano (loading positivo), esanale 3-metile (loading positivo), 2-4 decanediale (loading positivo), acetil-pirrolo (loading positivo), eptanale (loading negativo) per la PC1. La seconda componente principale (PC2) ha catturato la varianza associata a decil -benzene (loading negativo), fitane (loading negativo), nonadecane (loading negativo) e benzene 1,1 butile (loading negativo).

Confrontando gli score plot con i loading plot (Fig. 3), si osserva che i campioni del gruppo SL presentano livelli più elevati di esanale 3-metile, 2,4-decanediale, 2-esilfurano e acetilpirrolo. I campioni dei gruppi C e L mostrano valori più alti di ottanale ed eptanale, mentre quelli del gruppo S sono associati a un contenuto maggiore di decil-benzene, fitano, nonadecano e benzene 1,1-butile. Tali risultati sono coerenti con i dati riportati nella Tabella 2.

Figura 4. E-nose analisi applicata ai di campioni di carne cotta in relazione al sistema alimentare.



Per valutare la capacità discriminante dell'analisi olfattometrica, le impronte olfattive dei campioni di carne cotta appartenenti ai 4 gruppi sono state elaborate utilizzando l'analisi delle componenti principali (PCA). Dalla figura 4 si evince una netta separazione dei campioni di carne cotta appartenente al gruppo SL, mentre le impronte olfattive dei gruppi S, C e L sono parzialmente sovrapposti. Tali risultati sono in accordo a quanto evidenziato nell'analisi del volatiloma, i campioni di carne del gruppo SL hanno una differente impronta aromatica rispetto al gruppo S, C ed L.

In conclusione, il trattamento alimentare ha influenzato il profilo aromatico della carne cotta. L'individuazione di molecole in grado di "marcare" il sistema alimentare rappresenta senza dubbio uno strumento di garanzia sia per il consumatore che viene tutelato da tentativi di frode e di imitazione, sia per il produttore che vede così accresciuto il valore delle sue produzioni. Inoltre, imitando l'attività del naso umano, il naso elettronico può svolgere un ruolo importante nella discriminazione rapida oggettiva del prodotto in relazione al sistema alimentare.

Tabella2. Profilo aromatico (%) della carne cotta in relazione al sistema alimentare

Ret Time		C	Sansa	Lino	SL	SEM	P
1,650	2-Propanone	0.532 ^A	0.669 ^A	0.597 ^A	0.335 ^B	0.045	0.0001
1,739	Propanal, 2-methyl-	0.629 ^A	0.588 ^A	0.514 ^{AB}	0.349 ^B	0.044	0.0002
2,038	2,3-Butanedione	0.476 ^A	0.164 ^B	0.537 ^A	0.425 ^A	0.050	0.0001
2,069	2-Butanone	0.287 ^B	0.641 ^A	0.630 ^A	0.567 ^A	0.037	0.0001
3,14	2,3-Pentanedione	0.510 ^C	0.908 ^B	0.804 ^B	1.185 ^A	0.052	0.0001
3,217	Furan, 2-ethyl-	0.691 ^B	0.602 ^B	1.724 ^A	1.559 ^A	0.078	0.0001
5,759	Octane	0.749 ^{BC}	0.656 ^C	1.123 ^{AB}	1.299 ^A	0.102	0.0001
5,893	Hexanal	4.039 ^A	4.858 ^A	4.784 ^A	2.325 ^B	0.246	0.0001
11,617	2-Heptanone	1.156 ^{BC}	1.751 ^A	0.806 ^C	1.328 ^B	0.097	0.0001
11,768	Hexanal, 3-methyl-	0.419 ^{BA}	0.490 ^B	0.206 ^C	1.373 ^A	0.062	0.0001
12,159	Heptanal	4.433 ^A	2.233 ^B	3.994 ^A	1.311 ^C	0.220	0.0001
13,727	Hexanoic acid, methyl ester	0.283 ^b	0.479 ^{ab}	0.574 ^a	0.538 ^a	0.056	0.0025
15,597	Benzaldehyde	3.418 ^B	7.427 ^A	7.589 ^A	8.826 ^A	0.386	0.0001
16,774	1-Octen 3 olo	1.619 ^B	2.372 ^A	1.521 ^B	1.580 ^B	0.109	0.0001
16,958	Furan, 2-pentyl-	2.563 ^B	3.740 ^{AB}	3.451 ^B	4.755 ^A	0.322	0.0002
17,462	Octanal	13.483 ^A	10.946 ^B	12.786 ^A	3.815 ^C	0.436	0.0001
18,885	1-hexanol-2 ethyl	1.649 ^A	1.638 ^A	0.620 ^B	1.439 ^A	0.185	0.0005
19,247	Phenylacetaldehyde	0.783 ^B	1.172 ^A	0.810 ^B	1.044 ^{AB}	0.082	0.0032
19,709	2-Octenal, (E)-	0.945 ^A	0.805 ^A	0.419 ^B	0.684 ^{AB}	0.072	0.0001
20,551	1-Octanol	4.763 ^a	4.024 ^{ab}	4.282 ^{ab}	3.708 ^b	0.281	0.0479
20,745	2-Acetylpyrrole	2.480 ^B	2.013 ^{BC}	1.707 ^C	3.963 ^A	0.171	0.0001
20,833	Furan, 2-hexyl-	0.812 ^B	0.643 ^B	0.606 ^B	2.671 ^A	0.068	0.0001
21,065	2-Nonanone	1.175 ^B	0.938 ^B	2.064 ^A	1.317 ^B	0.196	0.0010
21,222	2-Hexyl-1-octanol	0.764 ^{ab}	0.871 ^{ab}	0.661 ^b	0.921 ^a	0.062	0.0234
21,456	Nonanal	26.900 ^A	21.813 ^B	26.606 ^A	29.047 ^A	1.049	0.0001
23,296	Z-2-nonenal	1.550	2.464	3.215	3.253	0.688	NS
23,464	Benzaldehyde, 2,5-dimethyl-	0.702 ^B	0.627 ^B	0.599 ^B	0.977 ^A	0.065	0.0004
23,732	1-Nonanol	0.491 ^B	1.692 ^A	0.579 ^B	0.814 ^B	0.091	0.0001
24,397	2-Decanone	1.255 ^A	1.110 ^A	0.814 ^B	0.795 ^B	0.060	0.0001
24,528	Dodecane	0.817 ^{AB}	0.636 ^B	0.647 ^B	1.004 ^A	0.051	0.0001
24,775	Decanal	2.301 ^A	1.318 ^B	1.386 ^B	1.536 ^B	0.083	0.0001
25,347	Nonanoic acid, methyl ester	0.261 ^B	0.341 ^{AB}	0.404 ^A	0.292 ^B	0.028	0.0051
26,483	2-Decenal	2.421 ^A	1.535 ^B	0.829 ^C	1.088 ^C	0.074	0.0001
26,922	1-Undecene	0.451 ^B	0.614 ^A	0.475 ^{AB}	0.398 ^B	0.041	0.0037

27,358	2-n-Octylfuran	0.391	0.386	0.459	0.347	0.047	NS
27,452	Tridecane	0.740 ^B	1.163 ^A	1.231 ^A	0.780 ^B	0.079	0.0001
28,07	2,4 decadienal	0.476 ^B	0.545 ^B	0.478 ^B	1.382 ^A	0.068	0.0001
	2-	0.290	0.316	0.331	0.339	0.026	NS
29,056	methylpropanoate						
29,318	2-Undecenal	1.939 ^A	1.415 ^A	0.499 ^B	0.463 ^B	0.149	0.0001
	Butanoic acid,	0.358	0.331	0.362	0.423	0.033	NS
29,586	butyl ester						
29,963	decanoic	0.499 ^A	0.258 ^B	0.288 ^B	0.343 ^B	0.041	0.0006
30,124	Tetradecane	0.499	0.443	0.427	0.386	0.041	NS
30,553	Dodecanal	0.496 ^C	1.190 ^A	0.700 ^B	0.739 ^B	0.049	0.0001
31,594	cis-Geranylacetone	0.216 ^{AB}	0.248 ^{AB}	0.163 ^B	0.308 ^A	0.027	0.0044
31,987	Nonadecane	0.181 ^C	0.889 ^A	0.287 ^C	0.602 ^B	0.065	0.0001
32,203	1-Dodecanol	0.361	0.320	0.278	0.250	0.057	NS
32,499	1-Tridecene	0.263	0.279	0.300	0.213	0.041	NS
32,674	Pentadecane	0.596 ^B	0.523 ^B	0.298 ^C	0.860 ^A	0.057	0.0001
33,051	Tridecanal	0.317 ^{AB}	0.339 ^A	0.226 ^B	0.332 ^A	0.026	0.0112
	Dodecanoic acid,	0.381 ^A	0.254 ^B	0.172 ^C	0.232 ^{BC}	0.021	0.0001
33,319	methyl ester						
34,76	dodecanoic acid	0.557 ^A	0.509 ^A	0.287 ^B	0.232 ^B	0.039	0.0001
35,07	Hexadecane	0.638 ^A	0.512 ^A	0.197 ^B	0.292 ^B	0.036	0.0001
35,417	Tetradecanal	0.496 ^A	0.392 ^A	0.248 ^B	0.419 ^A	0.034	0.0001
	Benzene, 1,1'-	0.186 ^B	0.347 ^A	0.142 ^B	0.208 ^B	0.030	0.0001
35,75	butylidenebis-						
36,802	Benzene, decyl-	0.183 ^B	0.303 ^A	0.130 ^B	0.136 ^B	0.027	0.0001
36,87	Pentadecanal	0.173	0.223	0.277	0.273	0.030	NS
37,16	Heptadecane	0.161 ^C	0.364 ^A	0.299 ^{AB}	0.225 ^{BC}	0.027	0.0001
37,353	2-Pentadecanone	0.485 ^A	0.355 ^{AB}	0.248 ^B	0.246 ^B	0.039	0.0001
37,691	16-octadecenal	0.433	0.447	0.619	0.571	0.051	NS
38,998	Tetradecanoic acid	0.430 ^A	0.276 ^B	0.235 ^{BC}	0.154 ^C	0.031	0.0001
39,069	Octadecanal	0.298 ^{AB}	0.346 ^A	0.241 ^B	0.390 ^A	0.026	0.0012
39,499	Octadecane	0.153 ^B	0.260 ^A	0.262 ^A	0.144 ^B	0.022	0.0001
39,655	Phytane	0.249 ^B	0.461 ^A	0.213 ^B	0.364 ^B	0.041	0.0001
39,865	Hexadecanal	0.493 ^B	1.659 ^A	0.512 ^B	0.576 ^B	0.104	0.0001
40,417	1 Phytene	0.160	0.319	0.306	0.307	0.047	NS
41,182	1-hexadecene	0.217 ^{BC}	0.385 ^A	0.146 ^C	0.331 ^{AB}	0.038	0.0001
41,605	2-heptadecanone	0.193	0.269	0.186	0.231	0.029	NS
42,136	δ-Decalactone	0.175	0.287	0.237	0.226	0.035	NS
43,002	hexadecanoic acid	0.471 ^{AB}	0.570 ^A	0.317 ^{BC}	0.219 ^C	0.044	0.0001

Tabella 3. Classi di composti aromatici in relazione al sistema alimentare

	C	Sansa	Lino	SL	SEM	P
Aldeidi totali	67.158 ^A	62.846 ^B	67.425 ^A	60.505 ^B	0.680	0.0001
Chetoni totali	6.072	6.809	6.688	6.432	0.291	NS

Esteri totali	1.575	1.723	1.845	1.826	0.105	NS
Alcoli totali	9.651 ^B	10.919 ^A	7.943 ^C	8.473 ^{BC}	0.333	0.0001
Furani totali	4.459 ^C	5.373 ^{BC}	6.242 ^B	9.856 ^A	0.301	0.0001
Acidi totali	1.959 ^A	1.614 ^B	1.129 ^C	0.949 ^B	0.083	0.0001
Terpeni totali	0.626 ^B	1.029 ^A	0.683 ^B	0.881 ^{AB}	0.082	0.0034
Idrocarburi totali	5.841 ^B	7.382 ^A	6.095 ^{AB}	6.885 ^A	0.236	0.0001
Lattoni	0.175	0.287	0.237	0.226	0.035	NS
Pirroli	2.480 ^B	2.013 ^{BC}	1.707 ^C	3.963 ^A	0.171	0.0001

Tabella 4. Composizione in acidi grassi della dieta (%)

	Composizione in acidi grassi della dieta (%)			
	Controllo	Sansa	Lino	Sansa+Lino
C18:1 n-9	25,96	59,87	13,82	39,57
C18:2 n-6	45,08	19,23	24,98	21,62
C18:3 n-3	1,76	1,99	45,96	19,91
Saturi	24,6	15,95	12,65	16,31
Monoinsaturi	26,1	60,08	13,93	39,67
Polinsaturi	46,84	21,22	70,94	41,53
n-3	1,76	1,99	45,96	19,91
n-6	45,08	19,23	24,98	21,62

Bella 01/08/2025

Il Direttore

Dr. Salvatore Claps

Il Responsabile Scientifico

Dr. Giulia Francesca Cifuni



