





**UNIMORE**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
CONTROLLO E SICUREZZA DEGLI ALIMENTI

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

# RICICLABILITÀ DEGLI IMBALLAGGI: FOCUS SUL PACKAGING PER PRODOTTI ENOLOGICI

Laureando: Andrea Sferruzza

Relatore: Prof. Fabio Licciardello

## INDICE

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ABSTRACT .....                                                                        | 5  |
| CAPITOLO 1 .....                                                                      | 6  |
| IL CONTESTO NORMATIVO EUROPEO E NAZIONALE .....                                       | 6  |
| 1.1 Evoluzione della normativa sugli imballaggi .....                                 | 6  |
| 1.2 Introduzione del Reg. (EU) 2025/40 e principi cardine della nuova normativa ..... | 9  |
| CAPITOLO 2 .....                                                                      | 11 |
| LA TRANSIZIONE NORMATIVA E IMPATTO SUL PACKAGING ALIMENTARE .....                     | 11 |
| 2.1 Contenuto di materiale riciclato in nuovi imballaggi .....                        | 11 |
| 2.2 Interazione con il regolamento MOCA .....                                         | 17 |
| CAPITOLO 3 .....                                                                      | 20 |
| STANDARD TECNICI UNI E SISTEMA CONAI .....                                            | 20 |
| 3.1 Standard UNI 11743:2019 e classificazione della riciclabilità .....               | 20 |
| 3.2 Il sistema CONAI e il contributo ambientale .....                                 | 24 |
| CAPITOLO 4 .....                                                                      | 32 |
| STUDIO SPERIMENTALE E VALUTAZIONE DEI MATERIALI ALTERNATIVI .....                     | 32 |
| 4.1 Contesto dello studio e presentazione HTS-enologia .....                          | 32 |
| 4.2 Impostazione delle prove sperimentali .....                                       | 34 |
| CAPITOLO 5 .....                                                                      | 36 |
| PRODOTTI OGGETTO DI STUDIO, MATERIALI E METODI DI ANALISI .....                       | 36 |
| 5.1 Prodotti oggetto di studio .....                                                  | 36 |
| 5.2 Materiali di confezionamento oggetto di studio .....                              | 39 |
| 5.3 Metodi e protocolli di analisi .....                                              | 43 |
| CAPITOLO 6 .....                                                                      | 47 |
| ANALISI DEI DATI E DISCUSSIONE .....                                                  | 47 |
| 6.1 Premessa sull'organizzazione delle prove sperimentali .....                       | 47 |
| 6.2 Variazione di massa dei campioni .....                                            | 48 |
| 6.3 Analisi dell'Attività dell'Acqua (aw) .....                                       | 55 |
| 6.4 Variazione dell'umidità relativa dei campioni .....                               | 58 |
| 6.5 Analisi del contenuto Fenolico Totale (TPC) .....                                 | 61 |
| 6.6 Valutazione dell'ossidazione lipidica mediante test TBA .....                     | 63 |
| CAPITOLO 7 .....                                                                      | 65 |
| CONCLUSIONI .....                                                                     | 65 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                                    | 67 |
| RINGRAZIAMENTI .....                                                                  | 69 |



## ABSTRACT

Negli ultimi anni il tema della sostenibilità ambientale ha assunto un ruolo sempre più centrale nelle politiche dell'Unione Europea, soprattutto per quanto riguarda la gestione dei rifiuti e l'utilizzo delle risorse. In questo contesto, il packaging alimentare è diventato uno degli ambiti più discussi, sia per l'impatto che ha in termini di produzione di rifiuti, sia perché rappresenta un settore in cui è possibile intervenire per migliorare la riciclabilità dei packaging alimentari e il riciclo.

A livello normativo, in UE, il punto di partenza è rappresentato dalla Direttiva 94/62/CE, che ha introdotto i principi fondamentali legati alla prevenzione, al riutilizzo e al riciclo degli imballaggi. Tuttavia, nel tempo sono emersi alcuni limiti, legati soprattutto alla scarsa uniformità di applicazione tra i diversi Stati membri. Per questo motivo, negli anni più recenti, l'Unione Europea ha progressivamente aggiornato il proprio approccio, introducendo obiettivi più concreti e spingendo sempre di più verso l'utilizzo di materiali riciclati e verso una maggiore riciclabilità degli imballaggi.

Anche a livello nazionale si è assistito a un'evoluzione in questa direzione. In Italia, accanto al recepimento delle direttive europee, sono stati introdotti strumenti normativi e tecnici sempre più specifici che, pur con alcuni limiti, cercano di fornire criteri più concreti per valutare e gestire il fine vita degli imballaggi.

Il settore enologico, e in particolare quello degli additivi e coadiuvanti, deve affrontare una sfida complessa. Da un lato ci sono requisiti molto stringenti legati alla performance che devono mantenere i prodotti imballati, che deve essere garantita per lunghi periodi di tempo, dall'altro cresce la necessità di utilizzare packaging che possano essere facilmente riciclati.

Il presente elaborato nasce proprio all'interno di questo contesto. Oltre a una parte iniziale di analisi normativa, il lavoro si è sviluppato attraverso un'attività più applicativa, svolta in collaborazione con un'azienda del settore. In particolare, sono state condotte prove di laboratorio con l'obiettivo di verificare la possibilità di sostituire packaging attualmente in uso, con soluzioni alternative che risultassero più compatibili con i processi di riciclo e che non peggiorassero le performance del prodotto compromettendo la shelf-life di diversi formulati commerciali.

Si tratta quindi di un caso studio concreto che testimonia il tentativo di applicare, nello specifico settore, quanto previsto dalla nuova normativa in materia di imballaggi e rifiuti di imballaggio.

## CAPITOLO 1

### IL CONTESTO NORMATIVO EUROPEO E NAZIONALE

#### 1.1 Evoluzione della normativa sugli imballaggi

La regolamentazione degli imballaggi nasce all'interno di un più ampio percorso di sviluppo della politica ambientale europea, che ha iniziato a strutturarsi già a partire dagli anni Settanta. In questa fase iniziale, l'attenzione era rivolta principalmente alla gestione dei rifiuti in generale, con interventi ancora frammentati e privi di una visione sistemica del ciclo di vita dei prodotti. Le prime normative, infatti, si concentravano soprattutto sullo smaltimento finale, senza incidere in modo significativo sulle fasi di produzione e progettazione.

Con il progressivo aumento dei consumi e della produzione industriale, il tema degli imballaggi ha assunto un ruolo sempre più centrale. Il packaging, da semplice strumento funzionale alla conservazione e al trasporto delle merci, è diventato uno dei principali generatori di rifiuti, rendendo evidente la necessità di una disciplina specifica. Così facendo, nel tempo, si è iniziato a sviluppare un approccio più strutturato, volto non solo alla gestione dei rifiuti, ma anche alla loro prevenzione.

Il primo vero punto di svolta è rappresentato dalla **Direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio**, che introduce per la prima volta un quadro normativo a livello europeo. L'obiettivo della direttiva è duplice: da un lato ridurre l'impatto ambientale degli imballaggi, dall'altro garantire il corretto funzionamento del mercato interno, evitando disparità tra gli Stati membri.

Con questa normativa viene definito un principio fondamentale che segnerà tutta l'evoluzione successiva: la necessità di intervenire lungo l'intero ciclo di vita dell'imballaggio. Non si tratta più soltanto di smaltire correttamente il rifiuto, ma di ridurre la produzione, favorirne il riutilizzo e promuoverne il recupero e il riciclo. In particolare, la direttiva stabilisce che la prevenzione costituisce la priorità, seguita da riutilizzo, riciclo e altre forme di recupero (Figura 1).

Questo cambio di visualizzazione del problema rappresenta un passaggio fondamentale verso una gestione più sostenibile delle risorse. Tuttavia, l'impostazione della direttiva riflette ancora la necessità di trovare un compromesso tra esigenze ambientali ed economiche. Le misure previste, infatti, lasciano ampi margini di discrezionalità agli Stati membri, che possono adottare strumenti e modelli organizzativi differenti.

Come evidenziato anche nelle linee guida di settore, la direttiva ha portato a risultati complessivamente positivi in termini di incremento del recupero e del riciclo, ma con modalità applicative molto eterogenee tra i diversi Paesi.

Nel corso degli anni, il quadro normativo si è progressivamente evoluto attraverso modifiche e integrazioni, come la Direttiva 2004/12/CE e la Direttiva quadro sui rifiuti 2008/98/CE, che hanno rafforzato gli obiettivi di recupero e introdotto il principio della responsabilità estesa del produttore (*Extended Producer Responsibility*, EPR). Quest'ultimo ha rappresentato un ulteriore passo avanti, attribuendo ai soggetti che immettono imballaggi sul mercato un ruolo attivo nella gestione del loro fine vita.



Figura 1, Waste Framework Directive revised | European Circular Economy Stakeholder Platform, [circular-economy.europa](https://circular-economy.europa.eu/)

Nonostante questi progressi, il sistema normativo originario ha mostrato nel tempo alcuni limiti strutturali. Infatti, la riduzione degli imballaggi e l'innovazione nella progettazione sono rimaste, almeno inizialmente, obiettivi secondari rispetto al raggiungimento delle percentuali di riciclo.

La Direttiva 94/62/CE ha rappresentato per lungo tempo il principale riferimento normativo europeo in materia di imballaggi e rifiuti di imballaggio, introducendo principi fondamentali quali la prevenzione, il riutilizzo e il riciclo. Tuttavia, nonostante il ruolo centrale svolto nello sviluppo delle politiche ambientali europee, nel tempo sono emersi diversi limiti strutturali che ne hanno ridotto l'efficacia nel guidare una reale transizione verso modelli idonei.

Uno degli aspetti più critici riguarda l'approccio complessivamente poco vincolante adottato dalla direttiva. Gli obiettivi fissati sono stati spesso formulati in termini generali, lasciando agli Stati membri ampi margini nella loro attuazione. Questo ha comportato una significativa differenza tra i

sistemi nazionali di gestione degli imballaggi, sia dal punto di vista organizzativo sia in termini di risultati raggiunti.

Un ulteriore limite è rappresentato dalla mancanza di una reale specificità tecnica all'interno della normativa. La direttiva, infatti, si concentra principalmente su obiettivi quantitativi di recupero e riciclo, senza fornire indicazioni dettagliate sulle caratteristiche che gli imballaggi dovrebbero possedere per essere effettivamente riciclabili. In altre parole, viene promosso il riciclo come obiettivo finale, ma non viene definito in modo sufficientemente chiaro come progettare un imballaggio affinché tale obiettivo sia concretamente raggiungibile.

A tal proposito, uno studio della Commissione Europea evidenzia come i requisiti essenziali della direttiva non siano stati aggiornati in modo significativo nel tempo e necessitino di un rafforzamento per migliorare la progettazione degli imballaggi (Commissione Europea, 2022).

A ciò si aggiunge un disallineamento tra gli Stati membri che non riguarda soltanto le modalità applicative, ma anche gli strumenti economici e i sistemi di responsabilità estesa del produttore. Differenze nei contributi ambientali, nei sistemi di raccolta e nelle infrastrutture di riciclo hanno determinato condizioni non uniformi nel mercato europeo, e una generale malagestione.

Un ulteriore elemento di criticità riguarda l'efficacia complessiva del sistema nel raggiungimento degli obiettivi ambientali. Nonostante l'esistenza di un quadro normativo consolidato, i livelli di riutilizzo, raccolta e riciclo degli imballaggi risultano ancora insufficienti rispetto agli obiettivi dell'economia circolare.

La stessa Commissione Europea sottolinea come tali livelli restino ancora limitati, evidenziando la necessità di ulteriori interventi (Commissione Europea, 2025).

Infine, la direttiva ha mostrato una limitata capacità di incidere sulle fasi a monte del ciclo di vita degli imballaggi, in particolare sulla progettazione. È stato evidenziato come il solo riciclo sia in grado di risolvere solo parzialmente le problematiche ambientali legate agli imballaggi, rendendo necessario un approccio più ampio e integrato (EESC, 2022, punto 3.3 del parere).

In conclusione, questi limiti hanno evidenziato la necessità di un'evoluzione del quadro normativo europeo verso modelli più stringenti, armonizzati e orientati all'intero ciclo di vita degli imballaggi.

## **1.2 Introduzione del Reg. (EU) 2025/40 e principi cardine della nuova normativa**

Nonostante i suoi limiti, la Direttiva 94/62/CE ha rappresentato un punto di svolta fondamentale nella gestione degli imballaggi a livello europeo, contribuendo in modo significativo all'incremento dei tassi di recupero e riciclo nel corso degli ultimi decenni. I dati più recenti mostrano infatti come il sistema europeo abbia raggiunto risultati rilevanti, avvicinandosi progressivamente agli obiettivi fissati per l'economia circolare. Nel 2023, il tasso complessivo di riciclo degli imballaggi nell'Unione Europea ha raggiunto il 67,5%, valore molto vicino all'obiettivo del 70% previsto per il 2030 (Eurostat, 2025).

Questi risultati evidenziano come il quadro normativo introdotto dalla direttiva abbia effettivamente contribuito a sviluppare sistemi di raccolta e recupero più efficienti, favorendo la diffusione di modelli basati sulla responsabilità estesa del produttore e sull'organizzazione delle filiere di riciclo. Tuttavia, accanto a questi aspetti positivi, emergono alcune criticità che hanno progressivamente evidenziato i limiti dell'impostazione normativa originaria.

In primo luogo, la produzione complessiva di rifiuti di imballaggio continua a rimanere elevata. Nel 2023, nell'Unione Europea sono state generate circa 79,7 milioni di tonnellate di rifiuti di imballaggio, pari a circa 177,8 kg per abitante (Eurostat, 2025). Questo dato, seppur in lieve diminuzione rispetto ad alcuni anni precedenti, rimane significativamente elevato e indica come le politiche adottate siano state più efficaci nel migliorare il riciclo che nel ridurre la produzione complessiva di rifiuti.

Un ulteriore elemento di criticità emerge analizzando nello specifico il caso degli imballaggi in plastica. Sebbene il tasso di riciclo sia aumentato nel tempo, passando dal 38,2% nel 2013 al 42,1% nel 2023, nello stesso periodo si è registrato un incremento complessivo della quantità di rifiuti prodotti, evidenziando una crescita parallela dei consumi e dell'utilizzo di materiali (Eurostat, 2025). Questo squilibrio mette in luce uno dei principali limiti del modello basato prevalentemente sul riciclo: l'incapacità di incidere in modo significativo sulla fase di produzione.

A ciò si aggiunge la persistente disomogeneità tra gli Stati membri, che si traduce in differenze rilevanti nei tassi di riciclo, nelle infrastrutture disponibili e negli strumenti di gestione adottati. Questo aspetto rende più complesso il raggiungimento di obiettivi comuni e limita l'efficacia complessiva del sistema a livello europeo.

Ciò mostra come la Direttiva 94/62/CE, pur avendo prodotto risultati significativi, non sia stata sufficiente a guidare una transizione completa verso l'economia circolare. In particolare, è emersa la necessità di intervenire in modo più incisivo sulle fasi a monte del ciclo di vita degli imballaggi, superando un approccio prevalentemente orientato alla gestione del rifiuto.

Il Regolamento 2025/40 rappresenta quindi un'evoluzione del quadro normativo precedente e un tentativo di rispondere alle criticità emerse nel tempo. La nuova normativa introduce un approccio più strutturato e vincolante, con l'obiettivo di rafforzare

## CAPITOLO 2

### LA TRANSIZIONE NORMATIVA E IMPATTO SUL PACKAGING ALIMENTARE

#### 2.1 Contenuto di materiale riciclato in nuovi imballaggi

L'introduzione di requisiti relativi al contenuto di materiale riciclato negli imballaggi rappresenta uno degli aspetti più innovativi dell'evoluzione normativa recente, ma al tempo stesso uno dei più complessi da applicare nel settore alimentare. Infatti, se l'utilizzo di materiale riciclato è fondamentale per ridurre il consumo di risorse vergini e favorire la transizione verso un modello di economia circolare, nel caso del packaging alimentare esso deve necessariamente essere compatibile con requisiti molto stringenti in termini di sicurezza.

Nell'ambito alimentare, la regolamentazione degli imballaggi assume una rilevanza ancora più complessa rispetto ad altri settori. Se, infatti, da un lato emerge l'esigenza di migliorare le performance ambientali del packaging attraverso il riciclo e il riutilizzo, dall'altro diventa imprescindibile garantire la **sicurezza alimentare** e un adeguata **shelf-life**. Da ciò deriva un conflitto di interesse tra due obiettivi fondamentali: la sostenibilità e la tutela della salute del consumatore.

Gli imballaggi destinati al contatto con alimenti rientrano nella categoria dei cosiddetti **MOCA (Materiali e Oggetti a Contatto con Alimenti)**, disciplinati a livello europeo da un quadro normativo specifico, il cui riferimento principale è il **Regolamento (CE) n. 1935/2004**. Tale regolamento stabilisce i principi generali cui devono conformarsi tutti i materiali destinati a entrare in contatto, diretto o indiretto, con prodotti alimentari.

Il principio cardine introdotto dal regolamento è che i materiali non devono trasferire ai prodotti alimentari sostanze in quantità tali da compromettere la salute umana o alterare le caratteristiche degli alimenti. In particolare, è previsto che essi non debbano comportare “un pericolo per la salute umana, una modifica inaccettabile della composizione degli alimenti o un deterioramento delle loro caratteristiche organolettiche” (Reg. (CE) 1935/2004, art. 3).

Questo approccio evidenzia come la normativa MOCA sia fortemente orientata alla prevenzione del rischio, imponendo un controllo rigoroso lungo tutta la filiera, dove il packaging non è più solo un contenitore, ma un elemento che interagisce con l'alimento, rendendo necessaria una valutazione approfondita delle sue proprietà chimiche e fisiche.

Con il tempo, il quadro regolatorio si è arricchito di disposizioni più specifiche per determinate categorie di materiali, in particolare per le materie plastiche, largamente impiegate nel settore alimentare.

Un passaggio particolarmente significativo nell'evoluzione normativa è rappresentato dall'introduzione di regole specifiche per l'utilizzo di **materie plastiche riciclate**, culminata nel **Regolamento (UE) 2022/1616**, relativo ai materiali plastici riciclati destinati al contatto con alimenti.

Tale regolamento stabilisce che i materiali riciclati possono essere utilizzati solo se derivanti da processi autorizzati e controllati, in grado di garantire la sicurezza del materiale finale.

In particolare, si richiede che i processi di riciclo siano sottoposti a valutazione scientifica e autorizzazione da parte delle autorità competenti, al fine di escludere rischi legati alla contaminazione (Reg. (UE) 2022/1616). Questa impostazione normativa riflette la crescente necessità di integrare i principi dell'economia circolare anche nel settore alimentare, ma evidenzia al contempo tutte le criticità del caso. A differenza di altri ambiti produttivi, infatti, l'utilizzo di materiali riciclati nel food packaging comporta rischi specifici, legati alla possibile presenza di contaminanti derivanti da precedenti cicli di utilizzo.

Per tale ragione, la normativa introduce strumenti particolarmente rigorosi, tra cui:

- la tracciabilità dei materiali lungo tutta la filiera;
- l'autorizzazione preventiva dei processi di riciclo;
- il controllo delle sostanze potenzialmente migranti verso l'alimento.

In questo modo il riciclo non è escluso, ma fortemente condizionato dalla dimostrabilità della sicurezza. Questo elemento segna una differenza sostanziale rispetto alla normativa generale sugli imballaggi, che invece si concentra prevalentemente sul raggiungimento di obiettivi quantitativi di recupero e riciclo. In altre parole, nel settore alimentare non è sufficiente che un imballaggio sia riciclabile: esso deve essere anche sicuro. Tale principio comporta che la transizione verso modelli più sostenibili debba necessariamente integrarsi con rigorosi requisiti sanitari, rendendo il percorso normativo più complesso e articolato. Proprio questa interazione tra sostenibilità ambientale e sicurezza alimentare rappresenta uno dei nodi centrali dell'evoluzione normativa recente. La crescente attenzione verso l'utilizzo di materiali riciclati, unita alla necessità di garantire la tutela del consumatore, ha portato a un progressivo rafforzamento dei controlli e a una maggiore complessità del quadro regolatorio.

Di conseguenza, il settore del packaging alimentare si trova oggi al centro di una duplice trasformazione: da un lato è chiamato a contribuire agli obiettivi di economia circolare, dall'altro deve mantenere standard elevatissimi di sicurezza. Questa tensione costituisce uno dei

principali fattori evolutivi della normativa e rappresenta un elemento chiave per comprendere le trasformazioni più recenti del settore. Qualsiasi materiale destinato al contatto con alimenti deve rispettare i principi stabiliti dal Regolamento (CE) n. 1935/2004, secondo cui non deve trasferire sostanze agli alimenti in quantità tali da rappresentare un rischio per la salute umana, né modificarne la composizione o le caratteristiche organolettiche (Reg. (CE) n. 1935/2004, art. 3).

In questo modo, l'utilizzo di materiali riciclati introduce una complessità aggiuntiva. A differenza dei materiali vergini, infatti, i materiali riciclati possono essere stati esposti a contaminazioni di varia natura durante il loro precedente ciclo di vita. Questo rende necessario un approccio normativo e scientifico più rigoroso, basato sulla valutazione del rischio e sul controllo dei processi di riciclo.

Il riferimento normativo principale per le plastiche riciclate destinate al contatto alimentare è il Regolamento (UE) 2022/1616, che stabilisce che tali materiali possono essere immessi sul mercato solo se ottenuti attraverso processi di riciclo autorizzati (Reg. (UE) 2022/1616, art. 4). L'elemento centrale della normativa non è quindi il materiale in sé, ma il processo con cui esso viene ottenuto. Questo rappresenta un cambiamento importante rispetto al passato, in quanto sposta l'attenzione dal prodotto finale al controllo dell'intera filiera.

Uno dei requisiti fondamentali introdotti dal regolamento riguarda la tracciabilità. Il materiale riciclato deve essere monitorato lungo tutte le fasi della filiera, dalla raccolta del rifiuto fino alla produzione dell'imballaggio finale. Questo consente di garantire la trasparenza del processo e di intervenire in modo tempestivo in caso di criticità.

A supporto di questo sistema, il Regolamento (CE) n. 2023/2006 sulle buone pratiche di fabbricazione stabilisce l'obbligo di adottare sistemi di qualità e di documentazione in grado di assicurare il controllo dei processi produttivi (Reg. (CE) n. 2023/2006, artt. 5–6).

Uno degli aspetti più critici riguarda la presenza di contaminanti chimici nei materiali riciclati. Questi possono derivare da utilizzi impropri del packaging, da contaminazioni ambientali o da fenomeni di degradazione del materiale. Il rischio principale è rappresentato dalla migrazione di tali sostanze dall'imballaggio all'alimento (Reg. (UE) n. 10/2011, artt. 11–12).

Ciò fa sì che il contributo scientifico dell'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) risulti fondamentale. EFSA è responsabile della valutazione dei processi di riciclo e della verifica della loro idoneità all'utilizzo nel settore alimentare. L'approccio adottato dall'Autorità si basa sul principio secondo cui la sicurezza del materiale riciclato dipende principalmente dall'efficacia del processo di decontaminazione (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024).

Per valutare questa capacità, EFSA utilizza i cosiddetti “challenge test”, ovvero prove sperimentali in cui il materiale plastico viene contaminato artificialmente con sostanze modello rappresentative di diverse classi chimiche. Tra queste rientrano composti come:

- Toluene;
- Clorobenzene;
- Fenilcicloesano;
- Benzofenone;
- Metil Stearato;
- Tetracosano.

Scelti per simulare differenti comportamenti di migrazione e diverse proprietà chimico-fisiche (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024).

Nel dettaglio, i “challenge test” utilizzati per la valutazione dei processi di riciclo seguono una metodologia standardizzata definita da EFSA, che prevede la contaminazione intenzionale del materiale plastico con una miscela di sostanze modello (“surrogate contaminants”). Il materiale, generalmente PET macinato sotto forma di flakes, viene esposto a queste sostanze in condizioni controllate, al fine di simulare una contaminazione accidentale derivante da utilizzi non idonei (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024). Successivamente, il materiale contaminato viene sottoposto all'intero processo di riciclo industriale (che può includere fasi di lavaggio, essiccazione, estrusione e trattamenti termici sottovuoto). Al termine del processo, viene misurata la concentrazione residua dei contaminanti, permettendo di calcolare l'efficienza di decontaminazione del processo (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024). EFSA richiede che il challenge test sia progettato in modo tale da rappresentare condizioni “worst-case”, ovvero scenari cautelativi in cui la contaminazione iniziale è volutamente elevata (pari a 3 mg/kg di materiale plastico) e le condizioni operative del processo sono

rappresentative di quelle industriali reali (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024). L'obiettivo è garantire che anche nelle condizioni più sfavorevoli il processo sia in grado di ridurre la contaminazione a livelli sicuri. La valutazione non si limita alla semplice riduzione percentuale dei contaminanti, ma include anche una modellazione della migrazione verso l'alimento. In particolare, come mostrato in figura 2, EFSA calcola la cosiddetta concentrazione residua nel materiale ( $C_{res}$ ) e la confronta con una concentrazione modellata ( $C_{mod}$ ), che rappresenta il livello massimo accettabile per garantire che la migrazione nell'alimento non superi  $0,1 \mu\text{g/kg}$  (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024).

Affinché un processo sia considerato sicuro, deve essere verificata la condizione:  $C_{res} \leq C_{mod}$

Questo approccio consente di integrare i dati sperimentali con modelli previsionali, rendendo la valutazione più robusta e applicabile a diverse condizioni di utilizzo. Nel caso del PET riciclato, EFSA ha inoltre identificato alcune fasi del processo come particolarmente critiche per la decontaminazione, tra cui il trattamento termico ad alte temperature e l'estrusione sottovuoto. Queste fasi favoriscono la rimozione dei contaminanti attraverso fenomeni di volatilizzazione e diffusione (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids 2014).

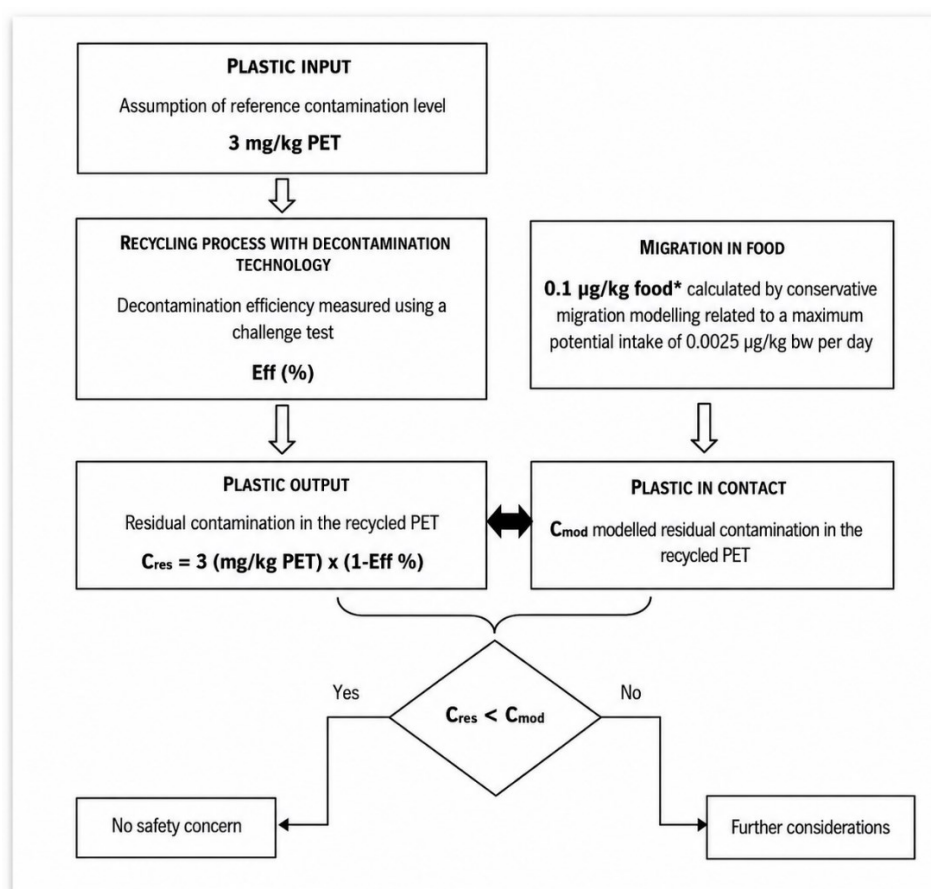


Figura 2, Appendix B. Relationship Between The Key Parameters For The Evaluation Scheme (Efsa Cef Panel, 2011), Efsa J. 2023 Nov 24;21(11):E08404. Doi: 10.2903/J.Efsa.2023.8404

Nel caso del PET riciclato post-consumo, che rappresenta il materiale più diffuso nel food packaging, EFSA ha dimostrato che processi adeguatamente controllati possono raggiungere efficienze di decontaminazione comprese tra il 99% e il 99,9%. EFSA ha quindi evidenziato che il livello di migrazione dei contaminanti risultava inferiore a 0,1 µg/kg di alimento, valore considerato sicuro (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids, 2014).

La valutazione del rischio si basa inoltre sul concetto di “Threshold of Toxicological Concern” (TTC), secondo cui l’esposizione a contaminanti sconosciuti non deve superare la soglia di 0,0025 µg/kg di peso corporeo al giorno (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids, 2024). Questo approccio consente di gestire il rischio anche in presenza di sostanze non completamente identificate, garantendo un elevato livello di protezione del consumatore.

Un ulteriore elemento critico riguarda il controllo dei parametri di processo. Temperatura, tempo di permanenza, condizioni di vuoto e flussi di processo sono identificati come fattori determinanti per l’efficacia della decontaminazione. Eventuali variazioni non controllate possono compromettere la sicurezza del materiale finale, rendendo necessaria una gestione rigorosa delle condizioni operative (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids, 2014).

La normativa tende a distinguere tra materiale post-consumo e scarti industriali reimmessi nel processo produttivo. Questi ultimi, pur essendo tecnicamente riciclati, non contribuiscono alla chiusura del ciclo e non sono considerati ai fini degli obiettivi ambientali. La normativa, a proposito di contenuto di riciclato, si riferisce in maniera specifica al riciclato post-consumo (*post-consumer recycle*, PCR).

Nel complesso, l’utilizzo di materiale riciclato nel packaging alimentare rappresenta una sfida complessa, che richiede l’integrazione tra sostenibilità ambientale e sicurezza alimentare. Il contributo della normativa e dell’EFSA evidenzia come il riciclo, nel settore food, non possa essere considerato esclusivamente un’opportunità ambientale, ma debba essere gestito come un processo controllato, basato su evidenze scientifiche e su una rigorosa valutazione del rischio.

## **2.2 Interazione con il regolamento MOCA**

L'introduzione di materiali riciclati nel packaging alimentare ha reso sempre più evidente la necessità di integrare gli obiettivi ambientali con quelli di sicurezza alimentare. Questo processo non è avvenuto in modo immediato, ma si è sviluppato progressivamente nel tempo, attraverso un'evoluzione del quadro normativo europeo che ha portato a una maggiore attenzione verso la gestione del rischio associato ai materiali a contatto con alimenti.

In una prima fase, la normativa europea si è concentrata principalmente sulla definizione di requisiti generali di sicurezza, come nel caso del Regolamento (CE) n. 1935/2004, che ha introdotto il principio secondo cui i Materiali e Oggetti destinati al Contatto con Alimenti (MOCA) non devono trasferire sostanze in quantità tali da rappresentare un rischio per la salute umana (Reg. (CE) n. 1935/2004, art. 3). Questo approccio, tuttavia, risultava inizialmente più adatto ai materiali vergini, caratterizzati da una composizione nota e controllata.

Con il progressivo sviluppo dell'economia circolare e l'introduzione dei materiali riciclati, è emersa la necessità di adattare questo quadro normativo a una realtà più complessa. I materiali riciclati, infatti, presentano una maggiore variabilità compositiva e un rischio più elevato di contaminazione, legato alla loro storia d'uso e ai processi di recupero. Questo ha portato a un'evoluzione della normativa verso un approccio più specifico e basato sulla valutazione del rischio.

Un passaggio fondamentale in questo percorso è rappresentato dall'introduzione del Regolamento (UE) n. 10/2011, che ha definito criteri più dettagliati per i materiali plastici destinati al contatto con alimenti, introducendo specifici limiti di migrazione globale e specifica (Reg. (UE) n. 10/2011, artt. 11–12).

Successivamente, con l'aumento dell'utilizzo di materiali riciclati, si è resa necessaria una normativa ancora più specifica, che ha trovato espressione nel Regolamento (UE) 2022/1616. Tale regolamento ha introdotto un approccio innovativo, basato sull'autorizzazione dei processi di riciclo e sulla tracciabilità dei materiali lungo tutta la filiera (Reg. (UE) 2022/1616, artt. 4–7). Questo ha segnato un cambiamento significativo, spostando l'attenzione dal controllo del materiale finale alla valutazione del processo produttivo.

Uno degli aspetti più rilevanti nell'interazione tra materiali riciclati e normativa MOCA riguarda il fenomeno della migrazione. Nei materiali riciclati, la presenza di contaminanti non intenzionalmente aggiunti NIAS (vedi figura 4) rappresenta una criticità significativa, in quanto tali sostanze possono derivare da precedenti utilizzi del materiale, da processi di degradazione o da contaminazioni ambientali.

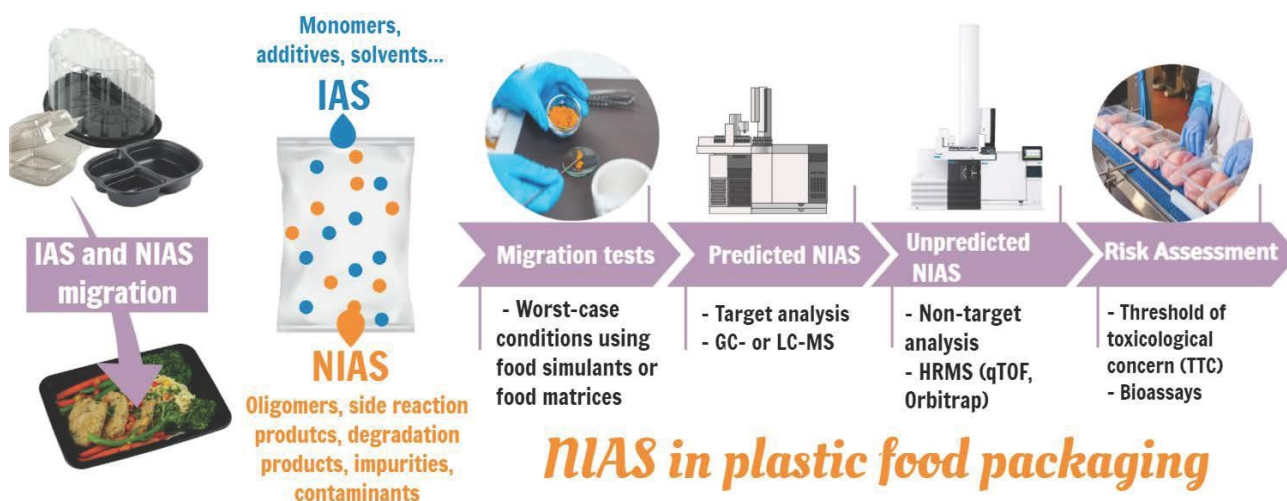


Figura 3, Safety of Plastic Food Packaging: The Challenges about Non-Intentionally Added Substances (NIAS) Discovery, Identification and Risk Assessment by Lilian Seiko Kato and Carlos A. Conte-Junior

La loro presenza rende più complessa la valutazione del rischio, richiedendo un approccio integrato che combini analisi chimiche, test sperimentali e modelli di esposizione. Un ulteriore elemento di complessità è rappresentato dalle condizioni d'uso dei materiali. La migrazione delle sostanze dipende infatti da diversi fattori, tra cui la temperatura, il tempo di contatto e la natura dell'alimento. Ad esempio, alimenti grassi possono favorire una maggiore migrazione di sostanze lipofile, mentre temperature elevate possono accelerare i fenomeni di diffusione. Questo rende necessario valutare l'idoneità dei materiali non in modo generale, ma in relazione a specifiche condizioni di utilizzo.

Dal punto di vista operativo, l'integrazione tra normativa ambientale e normativa MOCA ha comportato un aumento significativo della complessità gestionale per gli operatori del settore. Le aziende devono infatti garantire la conformità sia agli obiettivi di sostenibilità sia ai requisiti di sicurezza alimentare, adottando sistemi di controllo sempre più sofisticati. In questo ambito, il Regolamento (CE) n. 2023/2006 sulle buone pratiche di fabbricazione svolge un ruolo fondamentale, imponendo l'adozione di sistemi di qualità e di documentazione in grado di garantire la tracciabilità

e il controllo dei processi produttivi (Reg. (CE) n. 2023/2006, artt. 5–6). La tracciabilità diventa quindi uno strumento essenziale non solo per la gestione del rischio, ma anche per la dimostrazione della conformità normativa. Un altro elemento chiave è rappresentato dalla comunicazione lungo la filiera. La dichiarazione di conformità (DoC) consente di trasferire informazioni fondamentali tra i diversi operatori, garantendo che i materiali siano utilizzati in modo appropriato. Nel caso dei materiali riciclati, questa documentazione deve includere informazioni aggiuntive relative al processo di riciclo, alla provenienza del materiale e alle condizioni di utilizzo. Nel complesso, l'evoluzione della normativa evidenzia un passaggio da un approccio basato su requisiti generali a un sistema più complesso e integrato, fondato sulla valutazione del rischio, sulla tracciabilità e sul controllo dei processi. L'introduzione dei materiali riciclati ha quindi rappresentato non solo una sfida ambientale, ma anche un elemento di trasformazione del quadro normativo e delle pratiche industriali.

In questo scenario, il packaging alimentare si configura come un settore altamente strategico, in cui l'equilibrio tra sostenibilità e sicurezza rappresenta una delle principali sfide. La capacità di integrare questi due aspetti sarà determinante per il successo delle politiche di economia circolare e per la tutela della salute dei consumatori.

## CAPITOLO 3

### STANDARD TECNICI UNI E SISTEMA CONAI

#### 3.1 Standard UNI 11743:2019 e classificazione della riciclabilità

Accanto allo sviluppo della normativa europea, si è resa sempre più evidente la necessità di introdurre strumenti in grado di supportare la valutazione della riciclabilità degli imballaggi. Nel caso degli imballaggi a prevalenza cellulosica si inserisce la norma UNI 11743:2019, che rappresenta uno dei principali riferimenti a livello nazionale per la classificazione della riciclabilità degli imballaggi in carta e cartone.

La norma nasce con l'obiettivo di fornire criteri oggettivi e condivisi per valutare la capacità di un imballaggio di essere effettivamente recuperato e riciclato all'interno delle filiere esistenti. Questo aspetto è particolarmente rilevante, poiché **la riciclabilità teorica di un materiale non coincide necessariamente con la sua riciclabilità reale**, che dipende soprattutto dalla capacità degli impianti di trattare i materiali garantendo prodotti finali sicuri, di alta qualità e tecnicamente efficienti.

Tra gli obiettivi principali della norma UNI 11743:2019 vi è quindi la definizione di un metodo standardizzato, su scala di laboratorio, per classificare gli imballaggi a base prevalentemente cellulosica in funzione del loro comportamento nelle fasi di trattamento e riciclo e ciò costituisce uno strumento di supporto sia per le aziende nella progettazione degli imballaggi sia per gli operatori della filiera nella valutazione delle prestazioni ambientali dei prodotti.

La norma attribuisce le classi di riciclabilità attraverso prove di laboratorio che simulano le principali fasi del riciclo industriale.

In particolare, la valutazione del materiale può essere descritta attraverso le seguenti fasi:

**1. Preparazione del campione.** La prova inizia con la preparazione del campione di imballaggio da sottoporre al test. Il materiale viene selezionato nella configurazione reale di utilizzo e ridotto in frammenti di circa 50g e dimensioni controllate (frammenti di forma quadrata di 3 cm per lato) per garantire uniformità di trattamento. In questa fase vengono mantenuti tutti gli elementi costitutivi dell'imballaggio, compresi rivestimenti superficiali, colle, etichette o strati barriera, poiché anch'essi influenzano il comportamento in riciclo. L'obiettivo della fase iniziale è simulare il conferimento del rifiuto cellulosico nella filiera di recupero senza alterarne artificialmente la struttura.

**2. Disgregazione del campione.** Il campione viene successivamente inserito in un'apparecchiatura di disgregazione contenente acqua ad una temperatura di 40°C, che riproduce il funzionamento dei pulper industriali utilizzati nelle cartiere. Durante questa operazione il materiale viene sottoposto ad agitazione meccanica controllata per favorire il distacco e la dispersione delle fibre cellulosiche all'interno del mezzo liquido. Questa fase costituisce il momento centrale della prova, poiché consente di osservare:

- il grado di separazione delle fibre;
- la presenza di porzioni che rimangono compatte;
- il comportamento di eventuali componenti estranee.

Un imballaggio altamente riciclabile tende a liberare rapidamente le fibre generando una sospensione omogenea; al contrario, materiali con elevata presenza di rivestimenti o accoppiamenti mostrano una maggiore resistenza alla disgregazione.



*Figura 4 Processo di disgregazione della carta come da norma UNI 11743*

**3. Separazione dei residui grossolani.** Terminata la disgregazione, il materiale ottenuto viene sottoposto a una fase di separazione mediante sistemi di filtrazione o vagliatura e poi seccato in stufa. Lo scopo è isolare le componenti che non sono state trasformate in sospensione fibrosa e che rappresentano quindi una perdita per il processo di recupero. Tra i residui osservabili possono essere presenti:

- frammenti di carta non completamente disgregati;
- film plastici;
- adesivi;
- residui non cellulosici;
- elementi estranei.

Il quantitativo e la natura di tali residui costituiscono un indicatore diretto dell'efficienza di recupero dell'imballaggio.

**4. Formazione del foglio laboratorio e valutazione della qualità della fibra recuperata.** La sospensione ottenuta viene utilizzata per produrre un foglio di carta laboratorio che consente di analizzare la qualità del materiale recuperato. Questa fase permette di osservare caratteristiche quali:

- omogeneità della distribuzione delle fibre;
- presenza di impurità visibili;
- effetti di contaminazione dovuti a colle o rivestimenti.

L'obiettivo non è solo verificare quanta fibra viene recuperata, ma stabilire se tale fibra mantenga caratteristiche sufficienti per essere reimmessa in un nuovo ciclo produttivo.

**5. Elaborazione dei risultati e attribuzione della classe di riciclabilità.** I dati raccolti durante le prove vengono infine elaborati per attribuire una valutazione complessiva dell'imballaggio. La classificazione considera congiuntamente:

- resa di recupero della fibra;
- quantità di materiale non riciclabile generato;
- qualità del prodotto riciclato ottenuto.

Il risultato finale esprime quindi il grado di compatibilità dell'imballaggio con l'attuale sistema industriale di riciclo della carta e del cartone attribuendo una delle classi di seguito:

- **Livello A+ – Massima riciclabilità;** Il materiale presenta un comportamento molto simile a quello della carta tradizionale durante il processo di recupero. La separazione delle fibre risulta efficiente e l'impatto delle componenti non cellulosiche è trascurabile.
- **Livello A – Elevata riciclabilità;** Il materiale è compatibile con la filiera del riciclo della carta e consente un recupero efficace delle fibre, pur potendo generare effetti limitati sul processo o sulla qualità del prodotto riciclato.
- **Livello B – Riciclabilità discreta;** Il materiale può essere recuperato attraverso la filiera cartaria, ma presenta elementi che riducono l'efficienza del processo o la qualità della fibra ottenuta.
- **Livello C – Riciclabilità limitata;** Il materiale risulta tecnicamente riciclabile con la carta, ma mostra criticità significative durante le fasi di trattamento e recupero.
- **Non riciclabile con la carta;** Il materiale non soddisfa i requisiti minimi per essere efficacemente trattato negli impianti di riciclo della carta

In questo modo la UNI 11743:2019 fornisce linee guida importanti alle aziende per la progettazione di packaging sempre più facilmente riciclabili sempre considerando che le classi di riciclabilità non sono immutabili e l'evoluzione continua degli impianti di trattamento sarà probabilmente in grado di riciclare facilmente materiali ad oggi considerati molto difficili da trattare.

I risultati ottenuti attraverso metodologie di valutazione della riciclabilità assumono un significato se inseriti all'interno di una filiera capace di valorizzare il materiale recuperato.

Nel caso degli imballaggi a base cellulosica, in Italia un ruolo centrale è svolto da **COMIECO**, il consorzio che opera nell'ambito del sistema **CONAI** e che garantisce una funzione di supporto tecnico e ambientale alla progettazione degli imballaggi, promuovendo soluzioni che siano compatibili con gli impianti esistenti, l'aggiornamento degli impianti esistenti e favoriscano un utilizzo più efficiente della materia cellulosica riciclabile.

### 3.2 Il sistema CONAI e il contributo ambientale

Parallelamente all'evoluzione del quadro normativo europeo e allo sviluppo di metodologie per la valutazione della riciclabilità degli imballaggi, in Italia si è organizzato un sistema organizzativo finalizzato all'attuazione concreta degli obiettivi ambientali definiti dalla normativa comunitaria. In questo contesto assume un ruolo centrale il CONAI (Consorzio Nazionale Imballaggi), che costituisce il principale organismo nazionale per la gestione degli imballaggi e dei relativi rifiuti secondo il principio di responsabilità estesa del produttore (CONAI, 2023a).

Il sistema CONAI è stato introdotto in attuazione della Direttiva 94/62/CE ed il suo scopo consiste nel garantire il raggiungimento degli obiettivi di recupero e riciclo degli imballaggi immessi al consumo attraverso un meccanismo che attribuisce i costi della gestione del fine ciclo di utilizzo ai soggetti che immettono tali prodotti sul mercato, ossia produttori e utilizzatori.

Il funzionamento del sistema si basa su una struttura organizzativa senza fini di lucro che coordina sette consorzi di filiera:

- **Ricrea** (acciaio);
- **CIAL** (alluminio);
- **Comieco** (carta);
- **Rilegno** (legno);
- **Corepla** (plastica);
- **Coreve** (vetro).
- **Biorepack** (bioplastica compostabile)

Ogni filiera gestisce le attività di raccolta, selezione, avvio al recupero e sviluppo del riciclo del materiale di competenza, mentre CONAI svolge una funzione di coordinamento economico e regolatorio (CONAI, 2023a).

Alla base dell'intero sistema vi è il principio di responsabilità estesa del produttore (Extended Producer Responsibility – EPR), secondo cui chi introduce sul mercato un imballaggio mantiene una responsabilità indiretta anche nella fase successiva al consumo.

Questo principio ha modificato profondamente il modo di progettare gli imballaggi. Se inizialmente il contributo ambientale era percepito prevalentemente come un costo amministrativo necessario al finanziamento del sistema di raccolta e recupero, oggi esso è diventato uno strumento di politica industriale capace di orientare direttamente le scelte progettuali.

Negli ultimi anni il sistema si è evoluto introducendo anche il concetto di **contributo ambientale diversificato (CAC)**, che collega il valore economico dovuto alla reale riciclabilità dell'imballaggio.

L'obiettivo è rendere economicamente conveniente progettare imballaggi facilmente riciclabili negli impianti esistenti. Questa impostazione è particolarmente evidente nel caso della plastica, materiale che presenta la maggiore complessità gestionale.

Il sistema CONAI (come da Figura 5) prevede infatti una classificazione degli imballaggi plastici in fasce contributive basate sulla compatibilità con le filiere di riciclo:

| Materiale/Fascia contributiva |             | Dal 1° gennaio 2026 | Dal 1° luglio 2026 | Dal 1° ottobre 2026 |
|-------------------------------|-------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Plastica                      | Fascia A1.1 | 40,00 €/t           | 40,00 €/t          | 51,00 €/t           |
|                               | Fascia A1.2 | 87,00 €/t           | 87,00 €/t          | 92,00 €/t           |
|                               | Fascia A2   | 258,00 €/t          | 258,00 €/t         | 264,00 €/t          |
|                               | Fascia B1.1 | 219,00 €/t          | 219,00 €/t         | 260,00 €/t          |
|                               | Fascia B1.2 | 228,00 €/t          | 228,00 €/t         | 304,00 €/t          |
|                               | Fascia B2.1 | 611,00 €/t          | 611,00 €/t         | 639,00 €/t          |
|                               | Fascia B2.2 | 724,00 €/t          | 724,00 €/t         | 856,00 €/t          |
|                               | Fascia B2.3 | 785,00 €/t          | 785,00 €/t         | 917,00 €/t          |
|                               | Fascia C    | 790,00 €/t          | 790,00 €/t         | 922,00 €/t          |

*Figura 5 Contributo Ambientale CONAI per materiali plastici (CAC)*

- **La fascia A** comprende gli imballaggi selezionabili e riciclabili con le tecnologie attualmente disponibili. Si tratta generalmente di imballaggi monomateriale, come bottiglie in PET trasparente o flaconi in HDPE, facilmente riconoscibili dagli impianti di selezione e compatibili con filiere consolidate. Questi imballaggi sono caratterizzati da elevate performance di riciclo e dalla provenienza; infatti, tutti gli imballaggi appartenenti alla fascia A provengono dal circuito commerciale e industriale. La fascia è ulteriormente suddivisa nelle sottofasce A1.1 e A1.2: la prima comprende imballaggi rigidi e flessibili provenienti principalmente ai circuiti commerciali e industriali (C&I), quali big bag, pallet, cassette, taniche e altri contenitori industriali; la seconda include invece fusti e cisternette IBC in HDPE di capacità pari o superiore a 30 litri e i relativi sistemi di chiusura, anch'essi appartenenti a filiere di raccolta e riciclo consolidate. Infine, la Fascia A2 comprende invece imballaggi flessibili, quali liner, sacchi industriali, film per pallettizzazione, film termoretraibili e altri materiali flessibili in PE monopolimero, provenienti prevalentemente dai circuiti commerciali e industriali ma presenti in misura significativa anche nella raccolta differenziata urbana.
- **La fascia B1** include imballaggi riciclabili, anch'essi provenienti dal circuito domestico, ancora compatibili con il riciclo ma caratterizzati dalla presenza di elementi che riducono l'efficienza del processo. Tra questi rientrano colorazioni scure, etichette estese, componenti accessori e strutture che richiedono ulteriori passaggi di trattamento. La presenza di questi elementi non impedisce il recupero del materiale ma ne riduce la qualità finale o aumenta i costi industriali. La fascia è ulteriormente suddivisa nelle sottofasce B1.1 e B1.2: la prima comprende prevalentemente contenitori rigidi in HDPE fino a 5 litri, quali bottiglie, flaconi e taniche, oltre ai relativi tappi ed etichette progettati per favorirne la separazione durante il riciclo; la seconda include invece contenitori in PET monopolimero, trasparenti, colorati o opachi, e le relative preforme, nonché etichette compatibili con le filiere di riciclo consolidate.
- **La fascia B2** comprende imballaggi provenienti dal circuito domestico teoricamente riciclabili ma con filiere ancora limitate o non pienamente sviluppate. In questa categoria rientrano, ad esempio, film plastici sottili o imballaggi flessibili, difficili da intercettare nei sistemi di raccolta e da trattare negli impianti esistenti. Questi imballaggi risultano soggetti a un contributo più elevato. Anche la fascia B2 è articolata in sottofasce: la B2.1 comprende principalmente imballaggi rigidi in PP monopolimero, come bottiglie, secchi, vaschette e vassoi, oltre ai relativi tappi e coperchi; la B2.2 include invece altre tipologie di imballaggi

riciclabili, quali borse riutilizzabili, erogatori meccanici, tappi e chiusure rigide e contenitori rigidi in PE monopolimero, caratterizzati da una riciclabilità inferiore rispetto alle categorie precedenti. la B2.3 comprende infine specifiche tipologie di imballaggi rigidi in PET e in altri polimeri compatibili con le filiere di riciclo esistenti, ma caratterizzati da requisiti tecnici e prestazioni di riciclabilità differenti rispetto alle sottofasce precedenti.

- **La fascia C** comprende gli imballaggi che, allo stato attuale delle tecnologie e delle filiere industriali disponibili, non risultano selezionabili e/o riciclabili in modo efficace. Rientrano in questa categoria, ad esempio, gli imballaggi multistrato, poliaccoppiati, contenenti PVC, carbon black o altri elementi che ostacolano il riconoscimento ottico e il successivo riciclo del materiale. Per tali tipologie è previsto il contributo ambientale più elevato, al fine di incentivare la progettazione di soluzioni più facilmente riciclabili. È importante sottolineare che l'appartenenza alla fascia C non rappresenta una classificazione definitiva: essa riflette infatti lo stato delle tecnologie di selezione e riciclo attualmente disponibili.

La stessa classificazione si applica per gli imballaggi a prevalentemente a base cellulosica, come da Figura 6.

| <b>Fascia contributiva</b>                       | <b>Valore CAC<br/>dal 1° ottobre 2025</b> |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Fascia 1 – Monomateriale                         | 45,00                                     |
| Fascia 2 – Compositi tipo A                      | 45,00                                     |
| Fascia 3.1 – Compositi tipo B1 (CERTIFICATI)     | 45,00 + 10,00                             |
| Fascia 3.2 – Compositi tipo B2 (NON CERTIFICATI) | 45,00 + 25,00                             |
| Fascia 4 – CPL                                   | 45,00 + 70,00                             |
| Fascia 5.1 – Compositi tipo C1 (CERTIFICATI)     | 45,00 + 65,00                             |
| Fascia 5.2 – Compositi tipo C2 (NON CERTIFICATI) | 45,00 + 110,00                            |
| Fascia 6 – Compositi tipo D                      | 45,00+240,00                              |

*Figura 6 Contributo Ambientale CONAI per materiali a base cellulosica (CAC)*

- **La Fascia 1** comprende gli imballaggi costituiti esclusivamente da carta e cartone oppure da materiale cellulosico con una presenza trascurabile di componenti non cellulosiche. Rientrano in questa categoria scatole e scatoloni in cartone ondulato, astucci in cartoncino teso, sacchetti di carta, fogli da imballaggio e altri imballaggi interamente a base cellulosica.
- **La Fascia 2** Comprende gli imballaggi compositi di tipo A nei quali la componente cellulosica rappresenta tra il 90% e il 95% del peso complessivo dell'imballaggio. Si tratta generalmente di imballaggi cartacei con sottili rivestimenti funzionali
- **La Fascia 3.1** comprende gli imballaggi compositi di tipo B1 con una percentuale di carta compresa tra l'80% e il 90% del peso totale e certificati secondo il sistema Aticelca® 501. In questa categoria rientrano, ad esempio, numerosi imballaggi flessibili a prevalenza cartacea destinati al confezionamento alimentare, nei quali gli strati plastici sono contenuti e progettati per mantenere una buona compatibilità con il riciclo della carta.
- **La Fascia 3.2** comprende gli imballaggi di tipo B2 cioè imballaggi con la medesima percentuale di componente cellulosica (80–90%), ma non certificati Aticelca® 501. Pur presentando una composizione analoga ai B1, l'assenza della certificazione non consente di dimostrare le prestazioni di riciclabilità secondo il metodo previsto da CONAI, motivo per cui è previsto un contributo ambientale superiore.
- **La Fascia 4** è dedicata ai cartoni poliaccoppiati per liquidi (Cartons for Packaging Liquids - CPL), utilizzati per il confezionamento di latte, succhi di frutta, bevande vegetali, vino e altri alimenti liquidi. Sono strutture costituite prevalentemente da carta, accoppiata a sottili strati di polietilene e, in alcuni casi, di alluminio, indispensabili per garantire impermeabilità, proprietà barriera e adeguata conservazione del prodotto. Pur essendo materiali compositi, dispongono di una filiera di raccolta e riciclo dedicata che consente il recupero della componente fibrosa.

- **La Fascia 5.1** Comprende gli imballaggi compositi con una componente cellulosica compresa tra il 60% e l'80% del peso complessivo, certificati Aticelca 501. Si tratta di strutture più complesse rispetto ai compositi di tipo B, caratterizzate da una maggiore presenza di materiali non cellulosici, ma comunque progettate in modo da garantire una riciclabilità verificata attraverso la certificazione.
- **La Fascia 5.2** comprende imballaggi di tipo C2 con la stessa percentuale di componente cartacea (60–80%), ma privi della certificazione Aticelca 501. La maggiore complessità della struttura e l'assenza di una certificazione delle prestazioni di riciclo comportano una minore valorizzazione delle fibre e un contributo ambientale più elevato rispetto ai compositi C1.
- **La Fascia 6** comprende gli imballaggi di tipo D nei quali la componente cellulosica rappresenta meno del 60% del peso complessivo. Per tali motivi sono soggetti al contributo ambientale più elevato. Anche in questo caso, la classificazione riflette lo stato attuale delle tecnologie disponibili e potrà evolvere nel tempo grazie allo sviluppo di nuovi processi di selezione e riciclo.

Questo sistema introduce una logica chiara: maggiore è la riciclabilità dell'imballaggio, minore è il contributo ambientale dovuto. Al contrario, gli imballaggi complessi vengono penalizzati economicamente. Il contributo CONAI diventa quindi uno strumento di incentivo alla 'progettazione di packaging sempre più performanti anche durante la fase di riciclo, spingendo le imprese verso soluzioni più sostenibili. In diversi settori molti imballaggi sono progettati per garantire sicurezza e un'adeguata conservazione del prodotto e per questo sono costituiti da strutture multistrato, che rientrano spesso nelle fasce meno favorevoli (B2 o C). Si crea quindi un conflitto tra le esigenze tecnologiche di settore e gli obiettivi di riciclabilità.

Questo aspetto è particolarmente importante nel settore alimentare. Molti imballaggi food utilizzano strutture multistrato o accoppiate per garantire protezione microbiologica, barriera all'ossigeno e all'acqua e conservazione del prodotto. Dal punto di vista funzionale queste soluzioni risultano estremamente efficaci, ma diventano problematiche nelle fasi di selezione e riciclo.

CONAI sottolinea inoltre come la presenza di materiali diversi ed eterogenei possa influenzare significativamente la riciclabilità dell'imballaggio. Elementi tipici dell'industria alimentare apparentemente secondari, come etichette coprenti, adesivi, colorazioni molto scure, tappi costituiti da polimeri differenti, possono interferire in molti modi con il processo di riciclo

In particolare, le moderne tecnologie di selezione e separazione dei materiali sono capaci di identificare il polimero attraverso la risposta spettrale del materiale anche se alcuni pigmenti, soprattutto quelli neri a base carbon black, possono assorbire la radiazione infrarossa rendendo difficile il riconoscimento automatico dell'imballaggio. Questo comporta una riduzione dell'efficienza della selezione e aumenta la probabilità che il materiale venga scartato.

Un ulteriore aspetto affrontato dal sistema CONAI riguarda il tema dell'eco-design. Negli ultimi anni il consorzio ha progressivamente sviluppato linee guida rivolte alle aziende per incentivare la progettazione di imballaggi più compatibili con il riciclo. L'obiettivo non è soltanto ridurre l'utilizzo di materia prima, ma progettare imballaggi che possano essere facilmente gestiti lungo tutta la filiera del fine vita.

Le linee guida sull'eco-design sviluppate dal consorzio offrono alle aziende gli strumenti per superare una visione parziale della sostenibilità, storicamente limitata alla sola riduzione del peso del packaging. La progettazione orientata al fine vita si traduce così nell'adozione preferenziale di strutture monomateriale, soluzioni facilmente separabili dal consumatore, riduzione dei componenti accessori e impiego di etichette tecnologicamente compatibili con le attuali piattaforme di riciclo

Questo approccio evidenzia un cambiamento importante rispetto al passato. La sostenibilità dell'imballaggio non viene più valutata esclusivamente in funzione della riduzione del peso o dell'utilizzo di materiale riciclato, ma considerando l'intero ciclo di vita del prodotto.

Nel settore alimentare questo tema assume una rilevanza ancora maggiore, poiché la progettazione del packaging deve contemporaneamente garantire:

- sicurezza alimentare;
- conservazione del prodotto;
- resistenza meccanica;
- compatibilità con il riciclo.

Di conseguenza, la progettazione sostenibile dell'imballaggio alimentare richiede un equilibrio tra esigenze spesso contrastanti. Un materiale estremamente performante dal punto di vista della shelf-life può risultare poco compatibile con il riciclo, mentre una struttura facilmente riciclabile potrebbe non garantire adeguata protezione del prodotto. L'obiettivo per il futuro è la progettazione di nuovi packaging innovativi sempre più in grado di far coincidere le esigenze di performance e quelle di riciclabilità.

## **CAPITOLO 4**

### **STUDIO SPERIMENTALE E VALUTAZIONE DEI MATERIALI ALTERNATIVI**

#### **4.1 Contesto dello studio e presentazione HTS-enologia**

Lo studio sperimentale eseguito in laboratorio è stato concepito in considerazione dei capitoli precedenti, della situazione legislativa italiana ed europea e della crescente necessità per le aziende di adottare soluzioni di packaging sempre più sostenibili. Tale esigenza non è esclusivamente frutto di motivazioni ambientali ed ecologiche, ma anche da ragioni di carattere economico. Come già puntualizzato in precedenza, il Contributo Ambientale CONAI differenziato rappresenta uno stimolo per le aziende a sperimentare e adottare packaging più sostenibili in grado di scalare le fasce di riciclabilità CONAI e diminuire l'ammontare del contributo ambientale dovuto.

In questo scenario, il settore alimentare e più nello specifico, quello enologico si trovano ad affrontare una sfida particolarmente complessa. Se da un lato emerge la necessità di utilizzare materiali maggiormente riciclabili e compatibili con i principi dell'economia circolare, dall'altro risulta indispensabile garantire la conservazione delle caratteristiche qualitative dei prodotti durante la conservazione e le loro performance in fase di utilizzo.

Lo studio è stato realizzato in collaborazione con l'azienda HTS, attiva nel settore delle biotecnologie applicate all'enologia e all'industria della trasformazione alimentare. L'azienda, con sede principale a Marsala (TP) è presente anche nel nord Italia con la seconda sede operativa in provincia di Verona. Essa sviluppa e distribuisce prodotti destinati all'utilizzo durante tutte le principali fasi del processo di vinificazione e di conservazione del vino.

I prodotti della HTS-enologia comprendono tannini, lieviti, nutrienti, chiarificanti e numerosi altri additivi enologici che, per mantenere la propria efficacia, devono conservare inalterate le caratteristiche qualitative e funzionali anche durante lunghi periodi di stoccaggio. Nella maggior parte dei casi tali prodotti si presentano sotto forma di polveri o granulati igroscopici, particolarmente sensibili all'umidità.

Nel corso delle mie precedenti esperienze lavorative ho avuto modo di ricoprire ruoli operativi presso la Cantina Sociale Masone e Campogalliano Soc. coop. dove l'utilizzo dei prodotti HTS era giornaliero. Questa esperienza mi ha consentito di comprendere concretamente quanto la conservazione del prodotto rappresenti un aspetto cruciale per le aziende del settore.

Questi prodotti in molti casi vengono acquistati in grandi lotti e non totalmente utilizzati in un'unica campagna produttiva. Questo fa sì che possano venire conservati per diversi mesi o addirittura anni prima dell'utilizzo effettivo. Durante questo periodo la maggior parte delle cantine conserva i prodotti in magazzini non climatizzati, e soggetti a importanti variazioni stagionali di temperatura e umidità nonostante le indicazioni piuttosto chiare, date dal produttore, circa le ottimali modalità di conservazione dei prodotti. In alcune realtà produttive non è raro osservare, all' interno dei magazzini di stoccaggio, escursioni termiche superiori ai 40°C tra il periodo invernale e quello estivo e un'umidità, in alcuni periodi dell'anno, oltre il 90%.

Per questo motivo il packaging assume un ruolo fondamentale e deve garantire un'elevata barriera nei confronti dell'ossigeno e dell'umidità, fattori che possono influenzare negativamente la stabilità dei prodotti e comprometterne le prestazioni tecnologiche.

Questo aspetto assume una rilevanza ancora maggiore nel caso delle piccole e medie aziende vitivinicole che, terminata una campagna autunnale di raccolta e lavorazione dell'uva possono conservare parte dei prodotti acquistati fino all'inizio della stagione successiva. È quindi fondamentale che tali prodotti mantengano nel tempo le stesse caratteristiche organolettiche e le medesime performance tecnologiche, consentendo agli operatori di utilizzarli con la stessa efficacia anche a distanza di molti mesi dall'acquisto.

Alla luce di queste considerazioni, il lavoro di tesi è stato sviluppato con l'obiettivo di verificare se materiali di confezionamento alternativi, potenzialmente più sostenibili dal punto di vista ambientale e maggiormente compatibili con il futuro legislativo nazionale ed europeo in materia possano offrire prestazioni adeguate al mantenimento qualitativo dei prodotti confezionati. Con questa finalità, è stata avviata l'attività sperimentale finalizzata alla selezione di alcuni materiali ritenuti potenzialmente idonei alla realizzazione di packaging alternativi, valutati per confronto con il materiale di confezionamento convenzionale, fornito dall'azienda.

## 4.2 Impostazione delle prove sperimentali

I materiali selezionati sono stati tagliati da bobine e termosaldati per realizzare confezioni sperimentali all'interno delle quali sono stati inseriti i diversi prodotti in polvere forniti dall'azienda HTS. Una volta riempiti con 50g di prodotto ciascuno, i pacchetti sono stati chiusi mediante una seconda termosaldatura, cercando di riprodurre il più fedelmente possibile le condizioni operative utilizzate a livello industriale.

Per esigenze temporali, come spesso accade per gli studi riguardanti la shelf life, si è deciso di procedere attraverso prove a condizioni accelerate, cioè condotte a Temperatura e Umidità estreme, tipiche degli ambienti tropicali. I campioni sono stati quindi conservati all'interno di una camera climatica (in Figura 7) impostata ad una temperatura di 38°C e una UR dell'80%. Questi parametri accelerano i fenomeni diffusivi e le reazioni di ossidazione e degradazione dei prodotti confezionati; attraverso opportuni modelli di correlazione è possibile calcolare la shelf life che si avrebbe in condizioni di conservazione reali, partendo dai risultati ottenuti nelle prove accelerate.



*Figura 7 Esempio di Camera climatica da laboratorio utilizzata durante le prove*

Durante la permanenza in cella climatica, i campioni confezionati con i diversi materiali, compreso il materiale “controllo” in uso dall'azienda, sono stati periodicamente estratti seguendo un ordine randomizzato per ridurre possibili errori dovuti alla posizione dei campioni all'interno della camera.

Ad ogni campionamento sono state effettuate diverse analisi chimiche e fisiche finalizzate a valutare l'efficacia dei materiali nel preservare le caratteristiche originarie dei prodotti.

I parametri monitorati durante la sperimentazione sono i seguenti:

- **Attività dell'acqua (aw):** analisi condotta al fine di valutare la stabilità nel tempo degli additivi enologici e indirettamente di monitorare il rischio di possibili reazioni chimiche, attività enzimatiche e sviluppi microbiologici all'interno degli imballaggi oggetto di studio.
- **Umidità:** analisi condotta per quantificare l'assorbimento d'acqua da parte dei prodotti in analisi durante la permanenza in camera climatica.
- **Composti fenolici totali (TPC):** analisi eseguita mediante metodo Folin-Ciocalteu solo per il prodotto "tannino". L'obiettivo dell'analisi era verificare variazioni della componente fenolica durante le prove accelerate.
- **Livello dello stato ossidativo mediante TBA (Thiobarbituric Acid):** parametro analizzato sui prodotti B-energia e Natuvit per valutare i fenomeni ossidativi identificabili attraverso la formazione di composti secondari derivanti dalla ossidazione di componenti presenti nel prodotto. L'analisi dei TBARS (sostanze reattive all'acido tiobarbiturico) ha il potenziale di evidenziare l'effetto delle condizioni di conservazione e di confezionamento sull'ossidazione del prodotto.
- **Variazione in peso:** per valutare sia l'assorbimento di acqua da parte dei prodotti ma anche per monitorare l'integrità complessiva delle confezioni durante le prove. Le variazioni di peso osservate nel tempo possono infatti essere anche associate a difetti di saldatura, fessure passate inosservate o imperfezioni del materiale, in grado di favorire scambi di massa con l'ambiente esterno. Le pesate hanno quindi rappresentato una metodologia di monitoraggio semplice ma efficace per valutare sia la capacità barriera dei diversi materiali sia l'integrità nel tempo delle confezioni realizzate.

In ultima analisi queste prove periodiche hanno consentito un monitoraggio adeguato delle prestazioni dei materiali e indicazioni sulla loro possibile applicazione come alternativa al packaging convenzionale (controllo) attualmente utilizzato dall'azienda.

## CAPITOLO 5

### PRODOTTI OGGETTO DI STUDIO, MATERIALI E METODI DI ANALISI

#### 5.1 Prodotti oggetto di studio

Come anticipato nel capitolo precedente i prodotti utilizzati durante la sperimentazione sono stati forniti da HTS, che dal 1991 opera nel settore dell'enologia e all'industria della trasformazione alimentare, con una consolidata attività di ricerca, sviluppo e commercializzazione di additivi e coadiuvanti enologici. L'azienda propone una gamma estremamente ampia di prodotti destinati alle diverse fasi del processo produttivo, comprendendo soluzioni per la fermentazione alcolica e malolattica, la chiarifica, l'affinamento, la stabilizzazione e la filtrazione dei vini (<https://www.hts-enologia.com/>).

Nonostante il catalogo HTS comprenda centinaia di prodotti appartenenti a differenti categorie è stata necessaria da parte dell'azienda l'individuazione di un numero limitato di prodotti significativi da inserire all'interno dello studio in laboratorio.

La scelta è ricaduta su prodotti molto utilizzati dalle aziende vitivinicole durante diverse fasi produttive. Inoltre, la selezione è avvenuta considerando le differenti composizioni chimiche, così da poter valutare in maniera più completa le prestazioni dei materiali di confezionamento alternativi.

Tra i prodotti selezionati troviamo:

- **TRADITION DOUX**, *tannino ellagico di castagno bianco*. Prodotto appartenente alla classe dei **Tannini Enologici**, una delle principali categorie di additivi utilizzate nelle moderne pratiche di vinificazione. Il loro impiego è finalizzato al miglioramento della struttura e della complessità sensoriale del vino, ma soprattutto alla stabilizzazione del colore e alla protezione nei confronti dei fenomeni ossidativi. Ribéreau-Gayon et al. evidenziano come i tannini svolgano un ruolo determinante nella stabilizzazione delle antocianine durante l'evoluzione del vino e come la loro presenza rappresenti uno dei fattori più importanti per la stabilizzazione del colore nel tempo (Ribéreau-Gayon et al., 2006). inoltre, i tannini possono contribuire ai processi di chiarifica e favorire l'affinamento del vino grazie alla loro capacità di interagire con proteine e altri composti colloidali (Ribéreau-Gayon et al., 2006). Per quest'ultima ragione vengono anche utilizzati in alcune vinificazioni di pregio come nel caso dello Champagne.

- **B-ENERGIA**, autolisato di lievito *Saccharomyces cerevisiae*. Prodotto appartenente alla classe degli **Autolisati**, una categoria di coadiuvanti tecnologici ampiamente impiegata in enologia per elevare la qualità sensoriale di alcuni vini e per nutrire i lieviti prevenendo arresti fermentativi precoci. La loro composizione comprende polisaccaridi, composti azotati e altre sostanze rilasciate durante la degradazione controllata delle cellule di lievito. I polisaccaridi derivati dai lieviti possono influenzare in modo significativo l'equilibrio colloidale del vino e interagire con i composti fenolici, contribuendo alla stabilità e all'evoluzione delle caratteristiche sensoriali durante l'affinamento. Inoltre, tali composti sono in grado di modificare la reattività dei tannini e influenzare la percezione gustativa del prodotto finale (Ribéreau-Gayon et al., 2006).
- **NATUVIT**, rivitalizzante per lieviti secchi attivi costituito da **scorze di lievito** selezionate di *Saccharomyces cerevisiae*. Il prodotto è stato sviluppato per favorire la rivitalizzazione dei lieviti durante le prime fasi della fermentazione alcolica, migliorandone l'adattamento al mezzo e sostenendone l'attività metabolica. Le scorze di lievito rappresentano una fonte naturale di composti cellulari, polisaccaridi e fattori nutritivi utili al corretto sviluppo della biomassa fermentativa (<https://www.hts-enologia.com/>).
- **PURE UP**, un preparato costituito esclusivamente da **scorze di lievito** ottenute da *Saccharomyces cerevisiae* selezionati. Il prodotto è stato sviluppato per la cosiddetta "pulizia aromatica" dei vini attraverso la tecnologia R2A (*remove to add*), che consente la rimozione selettiva di composti responsabili del mascheramento aromatico e di alcune sensazioni gustative indesiderate quali amaro e vegetale (<https://www.hts-enologia.com/>). Si tratta di un prodotto fortemente igroscopico.
- **VEGEPURE JUICE**, una **miscela di proteine vegetali ottenute da pisello e patata** utilizzata nelle operazioni di chiarifica di mosti e vini. Queste proteine possiedono una spiccata capacità di interazione con i composti fenolici ossidati o ossidabili e vengono impiegate per ridurre fenomeni di imbrunimento nei vini bianchi, instabilità ossidativa e astringenza.

- **STABIL VINO DRY FLUX**, è una preparazione a base di gomma arabica ad elevato indice di filtrabilità utilizzata per la stabilizzazione colloidale dei vini. La gomma arabica è un polisaccaride naturale ottenuto dall'essudato di alcune specie appartenenti alla famiglia delle Acacie e viene impiegata in enologia come colloide protettore.

La sua principale funzione consiste nel prevenire la flocculazione e la precipitazione di colloidi instabili presenti nel vino, contribuendo al mantenimento della limpidezza e della stabilità nel tempo (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

A differenza di altri trattamenti chiarificanti, la gomma arabica non elimina i composti responsabili dell'instabilità colloidale, ma ne impedisce l'aggregazione e la successiva precipitazione.

Con questi prodotti forniti è stato quindi impostato lo studio sperimentale. È doveroso precisare che tutti i prodotti selezionati si presentano in forma polverulenta e sono caratterizzati da una marcata capacità di interagire con l'umidità ambientale, risultando da igroscopici a fortemente igroscopici a seconda del prodotto.

Questa caratteristica ha fortemente indirizzato la scelta dei packaging alternativi verso materiali multistrato. Materiali normalmente più idonei a bloccare il passaggio di umidità all'interno della confezione.

## 5.2 Materiali di confezionamento oggetto di studio

Una volta individuati i prodotti oggetto della sperimentazione, si è passato alla selezione dei materiali di confezionamento più interessanti da un punto di vista tecnologico. Alcuni dei materiali selezionati erano stati oggetto di precedenti attività di ricerca svolte presso i laboratori di Tecnologie Alimentari del Dipartimento di Scienze della Vita di UNIMORE. Durante queste attività i materiali avevano già mostrato risultati promettenti su altre matrici alimentari e sono stati pertanto considerati potenzialmente idonei anche per l'applicazione ai prodotti enologici. Di seguito, saranno descritti i materiali oggetto di studio, partendo dal materiale attualmente utilizzato da HTS (materiale "A", controllo) per seguire con e i tre packaging multistrato alternativi. È giusto precisare che la parte sperimentale è stata articolata in due fasi distinte, entrambe finalizzate al confronto tra materiali alternativi e il materiale di confezionamento attualmente utilizzato da HTS (materiale A, impiegato come controllo). Nella prima fase sono stati valutati tre materiali alternativi (materiali B, C e D); nella seconda fase, invece, sono stati testati due ulteriori materiali alternativi (materiali E ed F) sempre confrontandone le prestazioni con il materiale di controllo A. Questa impostazione ha consentito di valutare il comportamento di differenti soluzioni di packaging su matrici enologiche con caratteristiche diverse.

- **Materiale A:** materiale di riferimento ("controllo") adottato da HTS per un'ampia gamma di prodotti. Il materiale A è composto da: uno strato esterno in polietilen tereftalato (PET) di 12  $\mu\text{m}$  e con una grammatura di  $16.8 \text{ g/m}^2 \pm 8\%$ ; uno strato adesivo di 2  $\mu\text{m}$ ; uno strato intermedio costituito da un foglio in alluminio di 8  $\mu\text{m}$  di grammatura uguale a  $22.0 \text{ g/m}^2 \pm 8\%$  con funzione di barriera alla luce, all'ossigeno e all'acqua; un altro strato adesivo più interno di 2  $\mu\text{m}$  e lo strato più interno in polietilene (PE) di 110  $\mu\text{m}$  e con una grammatura di  $101.8 \text{ g/m}^2 \pm 8\%$ . È un materiale identificato con il codice **C/LDPE 90**: **C** = materiale composito/accoppiato (multistrato), con prevalenza di polietilene a bassa densità.

### Technical Data Sheet

#### ■ Description / Descrizione

|                                                                                     |                       |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
|  | PET                   | 12 $\mu\text{m}$  |
|  | Solvent free adhesive | 2 $\mu\text{m}$   |
|  | Aluminium             | 8 $\mu\text{m}$   |
|  | Solvent free adhesive | 2 $\mu\text{m}$   |
|  | PE                    | 110 $\mu\text{m}$ |

Figura 8 Stratigrafia materiale A "controllo"

- **Materiale B:** Il materiale B, gentilmente fornito dall'azienda Cartotecnica Veneta SPA, rappresenta il primo materiale alternativo di cui abbiamo voluto saggiare l'idoneità alla conservazione dei prodotti enologici. È un film costituito da una struttura multistrato progettata come alternativa ai tradizionali accoppiati contenenti un foglio di alluminio. Dall'esterno verso l'interno è composto da: uno strato superficiale di inchiostro a base solvente; Carta monopatinata da 70 g/m<sup>2</sup>; un adesivo che tiene uniti carta e PET; un film in PET metallizzato da 12 μm e uno strato interno in polietilene coestruso (Coex PE) da 20 g/m<sup>2</sup> idoneo alla termosaldatura e al contatto con il prodotto. Lo spessore complessivo del laminato è pari a 99 μm ± 8% e la grammatura totale raggiunge 113 g/m<sup>2</sup> ± 8%.

La metallizzazione del PET rimane ad oggi una strategia molto comune per ridurre l'impiego di fogli di alluminio negli imballaggi senza pregiudicare significativamente le prestazioni dell'imballo finale.

## Technical Data Sheet

### ▪ Description / Descrizione

|                                                                                     |                              |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|
|  | Varnish + Inks solvent based | 1 μm                |
|  | MP Paper 70 g/m <sup>2</sup> | 70 g/m <sup>2</sup> |
|  | Adhesive                     | 1 μm                |
|  | PET MET 12 μm                | 12 μm               |
|  | Coex PE 20 g/m <sup>2</sup>  | 20 g/m <sup>2</sup> |

*Figura 9 Stratigrafia materiale B*

- **Materiale C:** Il secondo materiale alternativo è anche esso un multistrato composto da (dall'esterno verso l'interno): due strati da 1 μm ciascuno composti da vernici e inchiostri; carta monopatinata da 70 g/m<sup>2</sup>; uno strato adesivo e un film BOPP coestruso metallizzato ad alta barriera dello spessore di 20 μm, un film plastico stirato in due direzioni (lunghezza e larghezza) che acquisisce elevata trasparenza, rigidità, resistenza meccanica e un'ottima resistenza all'umidità.

## Technical Data Sheet

### ▪ Description / Descrizione

|                                                                                   |                                                                                    |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|  | Vernice matt/ <i>Matt Varnish</i>                                                  | 1 $\mu\text{m}$     |
|  | Inchiostri/ <i>Inks</i>                                                            | 1 $\mu\text{m}$     |
|  | Carta monopatinata 70 g/m <sup>2</sup> /<br><i>Coated paper 70 g/m<sup>2</sup></i> | 70 g/m <sup>2</sup> |
|  | Adesivo/ <i>Adhesive</i>                                                           | 1 $\mu\text{m}$     |
|  | BOPP coex met alta barriera/<br><i>BOPP coex met High Barrier</i>                  | 20 g/m <sup>2</sup> |

Figura 10 Stratigrafia del materiale C

- **Materiale D:** Il terzo materiale scelto come alternativa è, come i precedenti, un prodotto multistrato composto da (dall'esterno verso l'interno): uno strato di vernice opaca di  $1,4 \text{ g/m}^2 \pm 0,5 \%$ ; uno strato di inchiostro variabile; uno strato di carta monopatinata di  $60 \text{ g/m}^2 \pm 6\%$ ; uno strato adesivo di grammatura uguale a  $2,3 \pm 1,0 \text{ g/m}^2$ ; uno strato di polipropilene orientato coestruso (OPP) di grammatura uguale a  $14,6 \text{ g/m}^2 \pm 8\%$ ; uno strato adesivo interno di  $2,3 \pm 1,0 \text{ g/m}^2$  e uno strato interno in polietilene (PE) di  $30 \mu\text{m}$  e grammatura da  $28,8 \text{ g/m}^2 \pm 8\%$  idoneo alla termosaldatura e al contatto con i prodotti alimentari

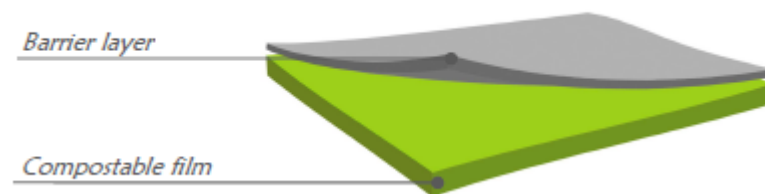
## Technical Data Sheet

### ▪ Description / Descrizione

|                                                                                     |                                         |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
|  | Vernice matt/ <i>Matt Varnish</i>       | 1,4 g/m <sup>2</sup> |
|  | Inchiostri/ <i>Inks</i>                 |                      |
|  | Carta monopatinata/ <i>Coated Paper</i> | 60 g/m <sup>2</sup>  |
|  | Adesivo/ <i>Adhesive</i>                | 2,3 g/m <sup>2</sup> |
|  | OPP coex                                | 16 $\mu\text{m}$     |
|  | Adesivo/ <i>Adhesive</i>                | 2,3 g/m <sup>2</sup> |
|  | PE                                      | 30 $\mu\text{m}$     |

Figura 11 Stratigrafia del materiale D

- **Materiale E:** Il materiale E, come il materiale F, è stato introdotto nella seconda fase della sperimentazione. Si tratta di una struttura multistrato costituita da uno strato di carta accoppiata ad un film compostabile termosaldabile metallizzato ad alta barriera. Il film barriera presenta uno spessore compreso tra 25 e 40  $\mu\text{m}$  ed è in combinazione con una metallizzazione superficiale. Secondo la documentazione tecnica fornita, il materiale possiede una permeabilità all'ossigeno inferiore a 0,5  $\text{cc/m}^2\cdot 24\text{h}$  e una permeabilità al vapore acqueo inferiore a 0,25  $\text{g/m}^2\cdot 24\text{h}$  nelle condizioni standard di prova. Il principale elemento di interesse del materiale E risiede nella sua compostabilità industriale certificata, che lo rende una possibile alternativa sostenibile ai tradizionali accoppiati contenenti materiali plastici convenzionali e foglio di alluminio.

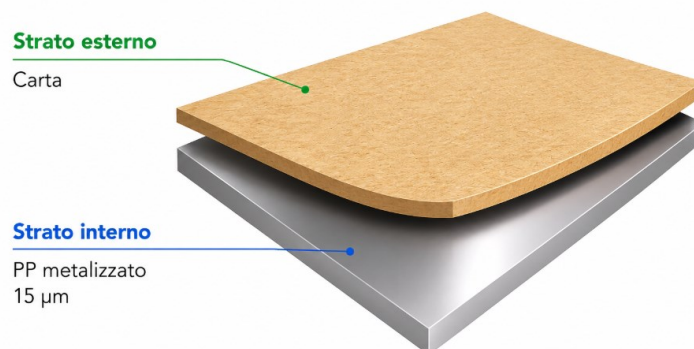


*Figura 12 Stratigrafia materiale E*

- **Materiale F:** Il materiale F è costituito da una struttura accoppiata carta-plastica composta da carta esterna e da un film di polipropilene metallizzato ad alta barriera (PP metallizzato) dello spessore di 15  $\mu\text{m}$ , fornito dall'azienda Sacchital.

È doveroso anticipare che durante le prove il materiale F ha mostrato prestazioni molto vicine a quelle del materiale di controllo A, risultando il più performante tra i materiali alternativi testati durante la seconda campagna sperimentale.

L'impiego di film PP metallizzati ad alta barriera rappresenta oggi una delle principali strategie per ridurre la complessità dei multilayer tradizionali mantenendo adeguate caratteristiche conservative per prodotti particolarmente sensibili.



*Figura 13 Stratigrafia materiale F*

### 5.3 Metodi e protocolli di analisi

Selezionati prodotti, materiali e parametri che sarebbero stati oggetto di studio è stato necessario identificare i metodi e protocolli in grado di monitorare al meglio il variare dei parametri selezionati:

- **Variazione di massa dei campioni**, attraverso le pesate periodiche.
- **Attività dell'acqua (aw)**;
- **Umidità**;
- **TPC (Total Phenolic Compounds)** per il tannino in polvere “Tradition Deux”;
- **TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances)** per l'autolisato di lievito “B-energia”;

Di seguito l'elenco dei metodi utilizzati per la rilevazione dei parametri appena elencati:

**Variazione di massa dei campioni:** un semplice ma efficace metodo di monitoraggio dell'andamento della massa nel tempo che permette di monitorare eventuale acquisto di peso per via di termosaldature non ottimali o in seguito a permeazione dell'umidità attraverso il materiale di confezionamento. Le confezioni sono state pesate mediante bilancia analitica e confrontate con il peso iniziale registrato al tempo zero.

**aw:** nel presente studio la determinazione dell'attività dell'acqua è stata effettuata mediante igrometro elettronico AquaLab 4TE (Meter Group, Inc., Pullman, WA, USA), strumento ampiamente utilizzato nelle analisi alimentari. Per ogni campione è stato prelevato 1 g di prodotto e trasferito all'interno delle apposite navicelle. Le navicelle sono state successivamente inserite nella camera di lettura dello strumento e mantenute in condizioni controllate (circa 1 minuto) fino alla restituzione da parte dello strumento di una misura. Tutte le determinazioni sono state effettuate in triplo e per ciascuna replica sono state eseguite tre letture consecutive. Il risultato finale è stato espresso come valore medio delle misure ottenute.

**Umidità totale:** l'analisi è stata eseguita attraverso la misura della perdita di peso del campione dopo essiccazione in stufa ventilata a 105 °C. Tale metodologia consente di quantificare l'acqua presente nel campione attraverso il confronto tra il peso iniziale e il peso finale dopo l'allontanamento dell'umidità.

Le determinazioni sono state effettuate secondo le seguenti fasi:

1. condizionamento preliminare del campione (dopo conservazione in cella climatica) a temperatura ambiente;
2. condizionamento delle navicelle in alluminio in stufa a 105 °C per 90 minuti;
3. raffreddamento di 60-90 minuti delle navicelle in essiccatore e successiva pesata (tara);
4. introduzione di circa 5 g di campione in ciascuna navicella;
5. preparazione di tre repliche indipendenti per ogni campione analizzato;
6. essiccazione in stufa ventilata a 105 °C per 120 minuti;
7. estrazione delle navicelle dalla stufa;
8. raffreddamento in essiccatore fino al raggiungimento della temperatura ambiente (60 minuti);
9. pesata finale dei campioni essiccati.

Al termine dell'analisi si calcola il contenuto di umidità e il residuo secco mediante differenza tra il peso iniziale e il peso finale del campione. L'umidità percentuale è stata calcolata mediante la seguente relazione:

$$Umidità (\%) = \frac{P_{iniziale} - P_{finale}}{P_{iniziale}} \cdot 100$$

**Polifenoli Totali:** la determinazione dei polifenoli totali (TPC, *Total Phenolic Compounds*) è stata effettuata esclusivamente sul prodotto **TRADITION DOUX**, in quanto tannino enologico caratterizzato da un elevato contenuto di composti fenolici. La metodologia utilizzata deriva dal metodo colorimetrico di Folin-Ciocalteu descritto di seguito (Singleton et al., 1999), con alcune modifiche adattate alle caratteristiche della matrice analizzata. La quantificazione è stata effettuata mediante lettura spettrofotometrica dell'assorbanza a 765 nm, secondo quanto riportato nel protocollo seguente (Prior et al., 2005):

1. preparazione di una soluzione refrigerata di metanolo, acqua distillata e acido formico nel rapporto 70:29:1 (v/v/v);
2. pesata di  $0,10 \pm 0,05$  g di campione all'interno di una falcon da 50 mL;
3. aggiunta di 20 mL della soluzione estraente fredda (rapporto campione/solvente pari a 1:20);

4. omogeneizzazione mediante Ultra-Turrax per 60 secondi a 9000 rpm;
5. centrifugazione a 6000 rpm per 15 minuti a 4 °C;
6. recupero del surnatante e trasferimento in una nuova falcon;
7. conservazione del primo estratto in frigorifero fino all'analisi;
8. risospensione del pellet residuo in ulteriori 20 mL di solvente fresco;
9. ripetizione delle fasi di omogeneizzazione e centrifugazione;
10. recupero del secondo estratto;
11. unione del primo e del secondo estratto e successivo riporto a volume per l'analisi spettrofotometrica.

Durante la fase preliminare di messa a punto del metodo sono state effettuate diverse prove sperimentali per ottimizzare le condizioni di estrazione e di lettura dalle quali abbiamo capito che:

- l'unione del primo e del secondo estratto consentiva di ottenere risultati più rappresentativi rispetto all'effettuazione di una sola estrazione;
- ulteriori estrazioni non determinavano incrementi significativi della quantità di polifenoli recuperata;
- diluizioni superiori a 1:10 producevano campioni caratterizzati da valori di assorbanza prossimi ai limiti di sensibilità dello strumento.

I risultati ottenuti sono stati successivamente espressi come contenuto totale di composti fenolici e utilizzati per confrontare la capacità dei diversi materiali di confezionamento di preservare la stabilità dei tannini durante la conservazione in cella climatica.

**TBARS:** l'analisi delle sostanze reattive all'acido tiobarbiturico (TBARS, *Thiobarbituric Acid Reactive Substances*) è stata effettuata esclusivamente sul prodotto **B-ENERGIA** e sul prodotto **NATUVIT** e riflette indirettamente l'entità dei fenomeni ossidativi che hanno interessato il prodotto durante la conservazione.

Durante l'analisi la reazione porta alla formazione di un complesso colorato la cui intensità viene misurata mediante spettrofotometria a 532 nm. I risultati ottenuti vengono espressi come valori di assorbanza.

Prima dell'analisi sono state preparate le soluzioni necessarie, in particolare una soluzione di acido tricloroacetico (TCA) al 10% e una soluzione di acido tiobarbiturico (TBA) 0,06 M, preparata giornalmente al momento dell'utilizzo.

L'estrazione e l'analisi sono state effettuate secondo il seguente protocollo:

1. raffreddamento preventivo dei campioni fino a circa 4 °C;
2. pesata di 0,5 g di campione all'interno di una falcon da 50 mL;
3. aggiunta di 20 mL di acqua distillata;
4. omogeneizzazione mediante Ultra-Turrax per 1 minuto a circa 9500 rpm;
5. aggiunta di 5 mL di soluzione di TCA al 10% per favorire la precipitazione delle proteine;
6. centrifugazione a 2000 rpm per 20 minuti a 4 °C;
7. prelievo del surnatante evitando di disturbare il pellet formatosi sul fondo della falcon;
8. filtrazione del surnatante mediante filtro a siringa da 0,45 µm;
9. trasferimento di 4 mL di surnatante filtrato in provette Pyrex con tappo a vite;
10. aggiunta della soluzione di TBA 0,06 M;
11. preparazione del bianco analitico utilizzando acqua distillata e TCA;
12. incubazione delle provette a 80 °C in bagno termostato per 90 minuti;
13. raffreddamento dei campioni fino al raggiungimento della temperatura ambiente;
14. trasferimento delle soluzioni nelle cuvette spettrofotometriche;
15. lettura dell'assorbanza a 532 nm mediante spettrofotometro.

I risultati ottenuti sono stati utilizzati per confrontare l'evoluzione dei fenomeni ossidativi nei campioni confezionati.

confezionamento. Le confezioni sono state pesate mediante bilancia analitica e confrontate con il peso iniziale registrato al tempo zero.

## CAPITOLO 6

### ANALISI DEI DATI E DISCUSSIONE

#### 6.1 Premessa sull'organizzazione delle prove sperimentali

Le prove sperimentali condotte nei laboratori di UNIMORE sono state eseguite in due momenti distinti e con modalità differenti:

- Una prima fase è stata condotta nel periodo compreso tra l'autunno 2023 e la primavera 2024. In questa fase sono stati presi in esame tutti i prodotti forniti da HTS e confezionati mediante i quattro materiali A, B, C e D.
- Una seconda fase, svolta nel periodo compreso tra l'autunno 2024 e l'inverno 2025, durante la quale è stato modificato, sulla base dei risultati preliminari ottenuti, il numero dei prodotti analizzati, che è stato ridotto a tre matrici: Natuvit, Tradition Doux e H-Veg. Parallelamente sono stati introdotti due ulteriori materiali di confezionamento, identificati con le sigle E ed F, selezionati per le loro promettenti caratteristiche in termini di sostenibilità e proprietà barriera.

I risultati riportati nel presente capitolo derivano pertanto dall'integrazione delle evidenze sperimentali ottenute nelle due campagne di prova e verranno analizzati e discussi i risultati ottenuti relativamente alle variazioni di massa dei campioni, al contenuto di umidità, all'attività dell'acqua, alla stabilità dei polifenoli totali e all'evoluzione dei valori TBARS, con l'obiettivo di individuare le soluzioni di packaging maggiormente idonee alla conservazione dei prodotti enologici oggetto di studio.

## 6.2 Variazione di massa dei campioni

Come spiegato nei capitoli precedenti le pesate periodiche sono state effettuate con l'obiettivo di verificare eventuali variazioni del peso dei campioni durante la permanenza in cella climatica. Tali variazioni possono essere correlate all'assorbimento di umidità da parte del prodotto, alla capacità barriera del materiale di confezionamento nei confronti del vapore acqueo oppure, in casi particolari, a fenomeni legati all'integrità delle saldature o all'assorbimento di acqua da parte degli stessi materiali costituenti il packaging.

Poiché tutti i prodotti studiati si presentano in forma polverulenta e possiedono una spiccata tendenza ad assorbire umidità dall'ambiente, specialmente nelle condizioni di conservazione adottate, l'andamento della massa rappresenta un indicatore preliminare particolarmente utile per valutare l'efficacia dei diversi sistemi di confezionamento. Sebbene tale parametro non consenta da solo di descrivere completamente le modificazioni avvenute nei campioni, esso fornisce una prima indicazione, ma a volte sufficiente, delle prestazioni dei materiali.

Nella prima fase dello studio le pesate sono state effettuate periodicamente durante il periodo di permanenza in cella climatica al fine di valutare l'andamento della massa nel tempo.

L'analisi dei dati (Figure 13-18) ha evidenziato differenze significative tra i materiali studiati. In generale il materiale A, utilizzato come controllo e costituito da una struttura PET/Alluminio/PE, ha mostrato le minori variazioni di massa durante la conservazione. Tale comportamento era atteso considerando la presenza del foglio di alluminio, che rappresenta la barriera più efficace nei confronti del passaggio di ossigeno e vapore acqueo.

I materiali B, C e D hanno invece mostrato comportamenti differenti in funzione della loro composizione. Le strutture contenenti carta hanno evidenziato una maggiore sensibilità alle condizioni ambientali della cella climatica, probabilmente a causa della natura igroscopica della componente cellulosica. Tuttavia, le differenze osservate tra i vari materiali suggeriscono che la presenza di film metallizzati e strati barriera possa compensare almeno in parte tale criticità.

Nel complesso, le variazioni di massa osservate durante questa prima fase sperimentale hanno confermato come la sostituzione del tradizionale accoppiato contenente alluminio rappresenti una sfida complessa.

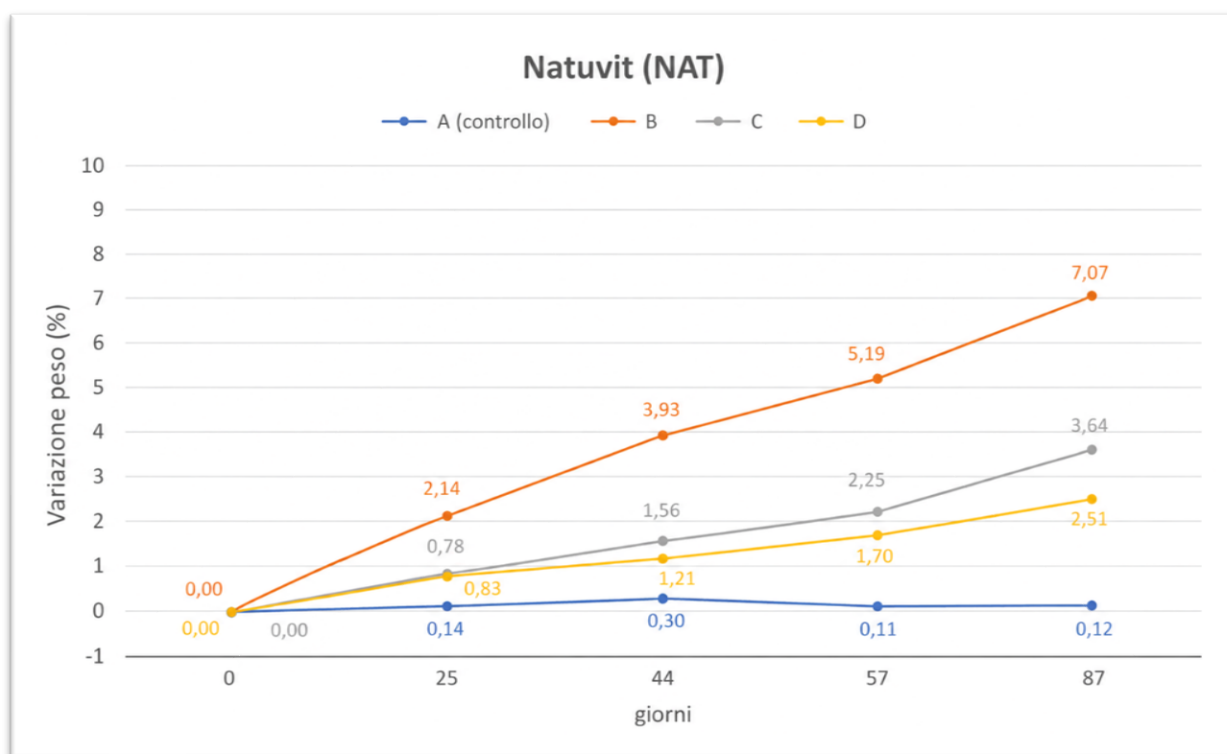


Figura 12 Variazione di massa delle confezioni di prodotto Natuvit durante conservazione in cella climatica

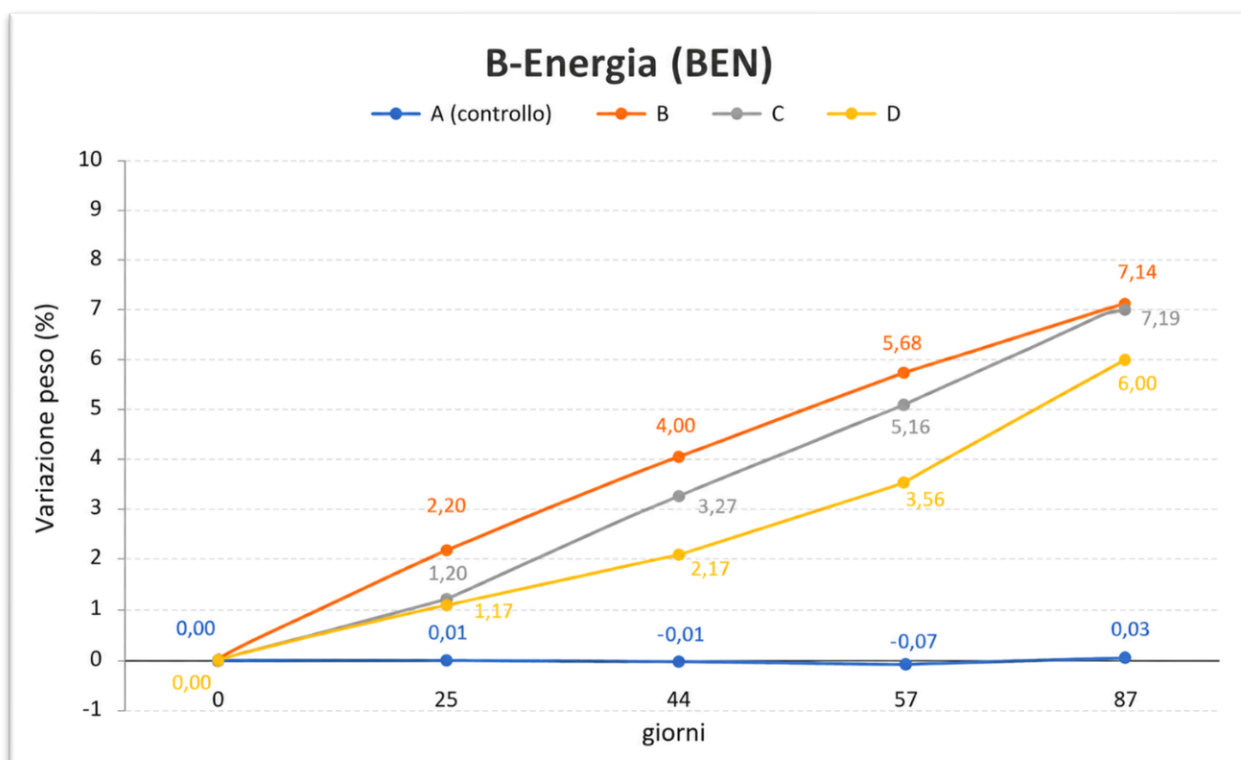


Figura 13 Variazione di massa delle confezioni di prodotto B-energia durante conservazione in cella climatica

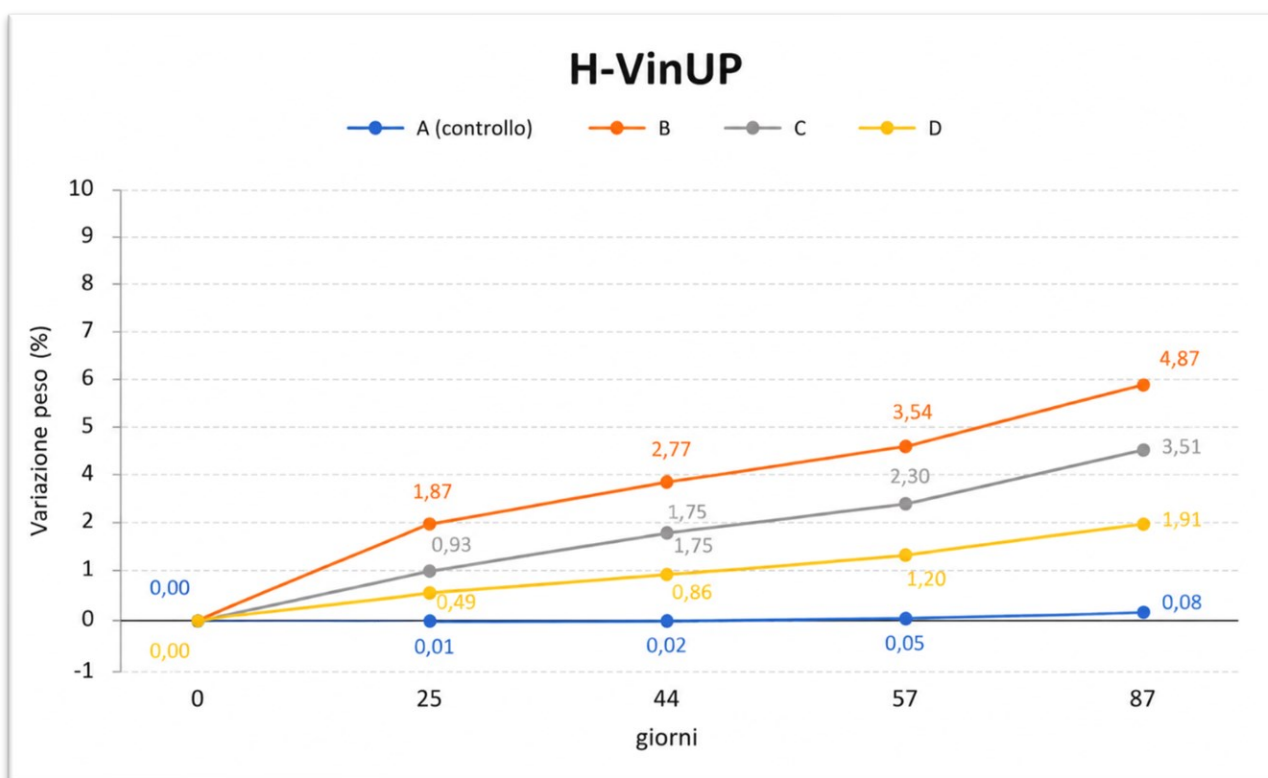


Figura 14 Variazione di massa delle confezioni di prodotto H-vinup durante conservazione in cella climatica

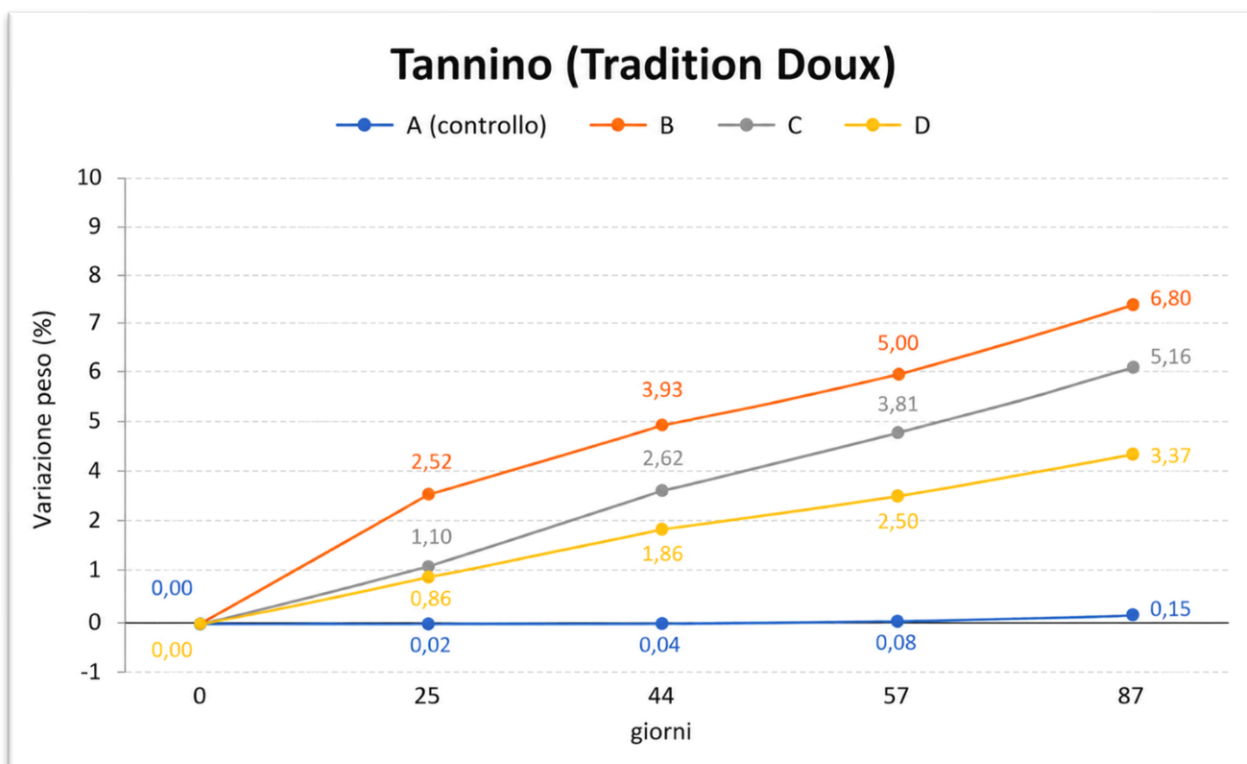


Figura 15 Variazione di massa delle confezioni di prodotto Tradition Deux conservazione in cella climatica

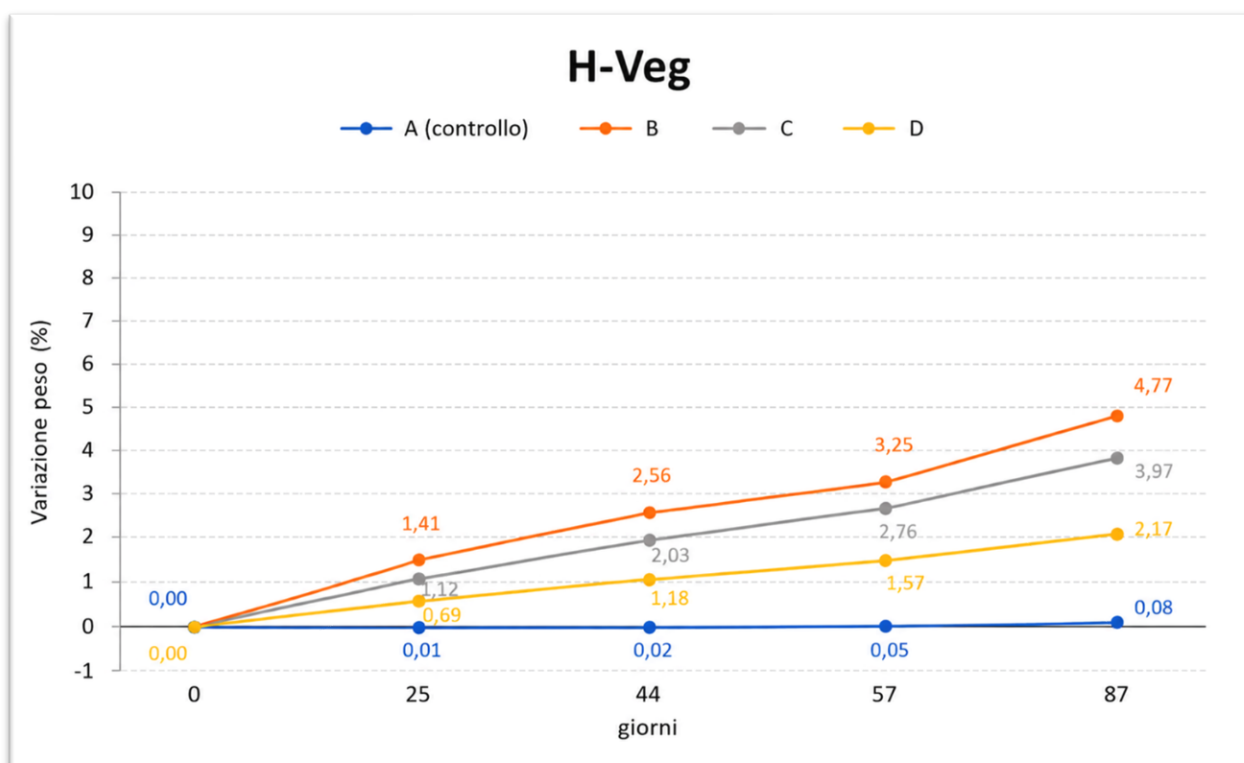


Figura 16 Variazione di massa delle confezioni di prodotto H-veg durante conservazione in cella climatica

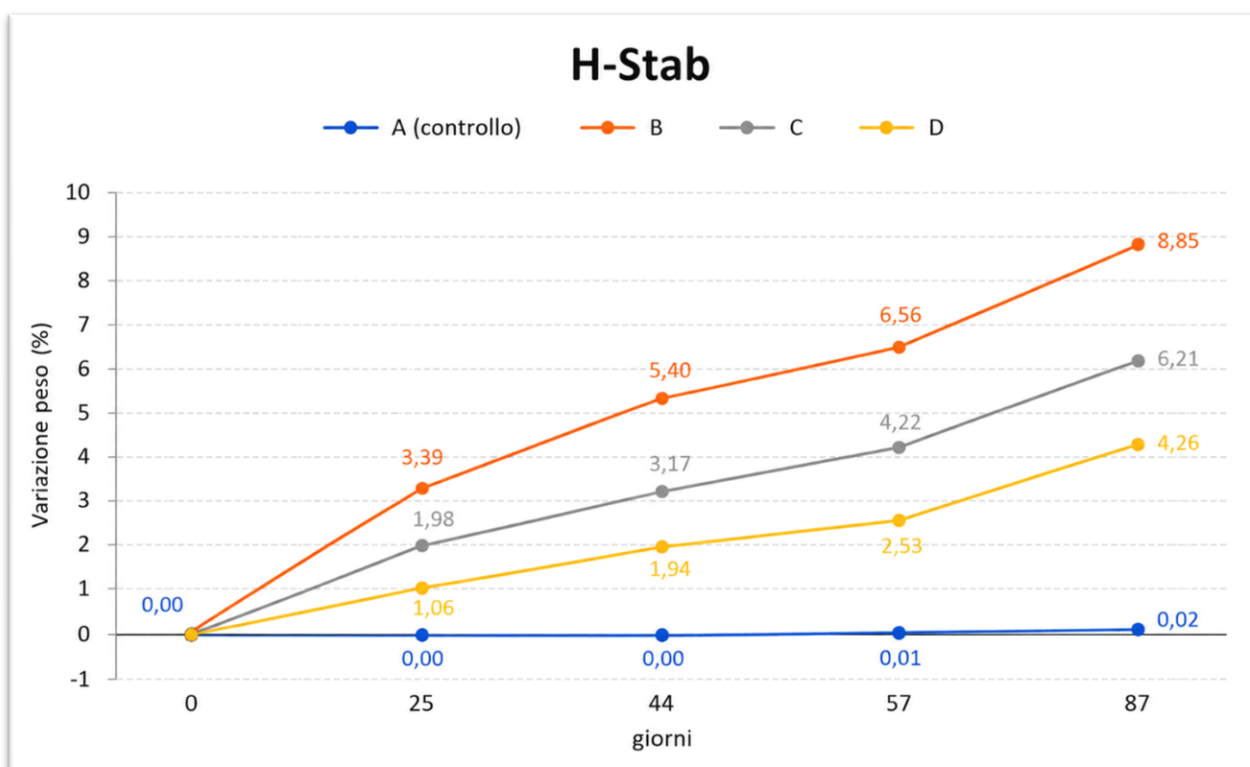


Figura 17 Variazione di massa delle confezioni di prodotto H-stab durante conservazione in cella climatica

Visivamente, analizzando i grafici, emerge chiaramente che il controllo A ha mantenuto per tutti prodotti un'elevatissima stabilità nel tempo con variazioni al limite del trascurabile per un periodo così lungo (87 giorni) in condizioni tropicali. I materiali alternativi B, C e D hanno invece mostrato variazioni che evidenziano una limitata capacità di barriera nei confronti dell'umidità. In tutti i prodotti analizzati si osserva infatti una tendenza all'aumento del peso, attribuibile principalmente alla permeazione dell'umidità e all'assorbimento di acqua da parte delle polveri igroscopiche conservate nelle condizioni accelerate della cella climatica (38°C e 85% U.R.). Tra i materiali alternativi, il materiale D ha generalmente evidenziato le migliori prestazioni, con incrementi di massa inferiori rispetto ai materiali B e C per la maggior parte dei prodotti esaminati. Il materiale C ha mostrato risultati intermedi, mentre il materiale B ha generalmente evidenziato gli incrementi di massa più elevati.

Per tutti i prodotti enologici in esame, è stato confermato il seguente comportamento dei materiali di confezionamento, in ordine decrescente di prestazione:  $A > D > C > B$ .

Nel complesso, i risultati ottenuti confermano che la sostituzione del materiale convenzionale contenente alluminio con strutture a prevalenza cellulosica comporta una riduzione delle prestazioni barriera. Tuttavia, l'alternativa D ha mostrato prestazioni interessanti, alla luce di un miglioramento nel profilo ambientale del materiale.

Nella seconda fase dello studio, si è passati alla valutazione dei due nuovi materiali introdotti: E ed F. Essi sono sempre stati confrontati con il materiale di controllo A e, a differenza della prima campagna, le prove sono state condotte solo su tre prodotti: Natuvit, H-Veg e Tradition Doux (rispettivamente, in Figura 17, 18 e 19). La durata delle prove è stata inferiore (fino a 35 giorni) in quanto questa durata consentiva comunque di osservare variazioni nei parametri considerati e quindi di confrontare il comportamento dei materiali in esame.

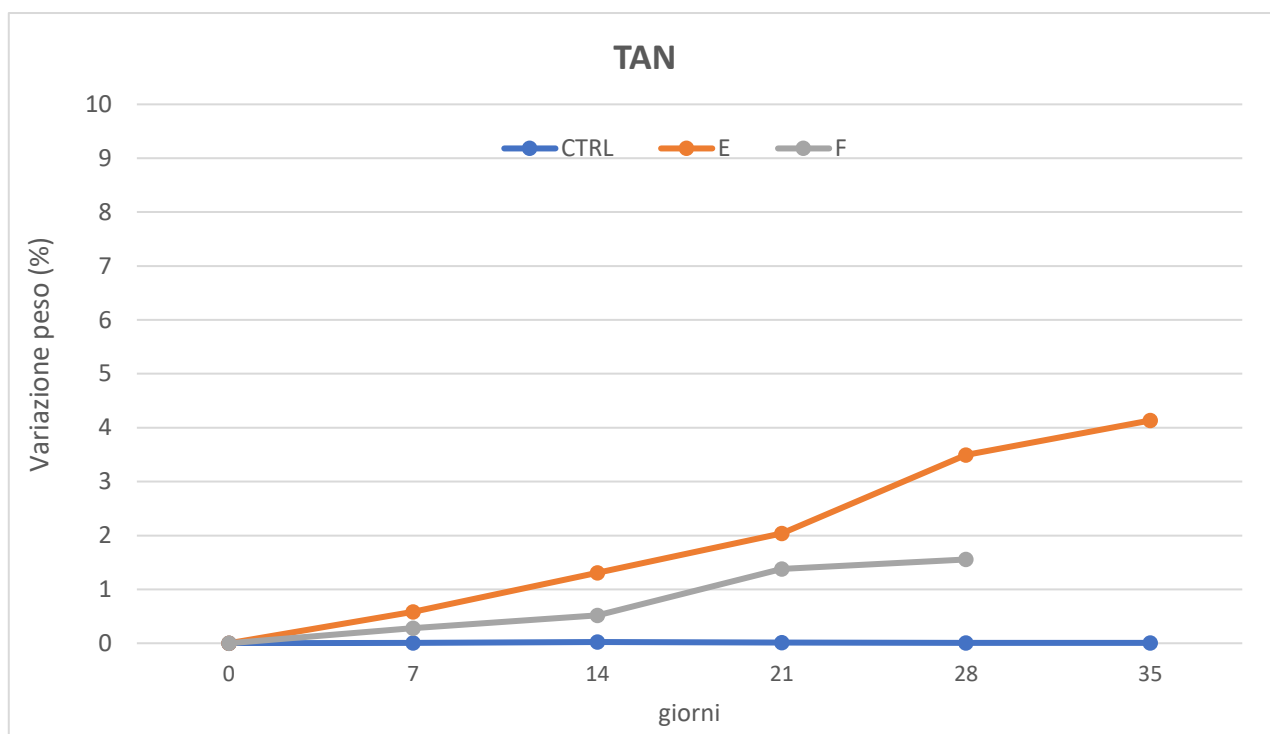


Figura 20 Variazione di massa del prodotto Tradition Dux

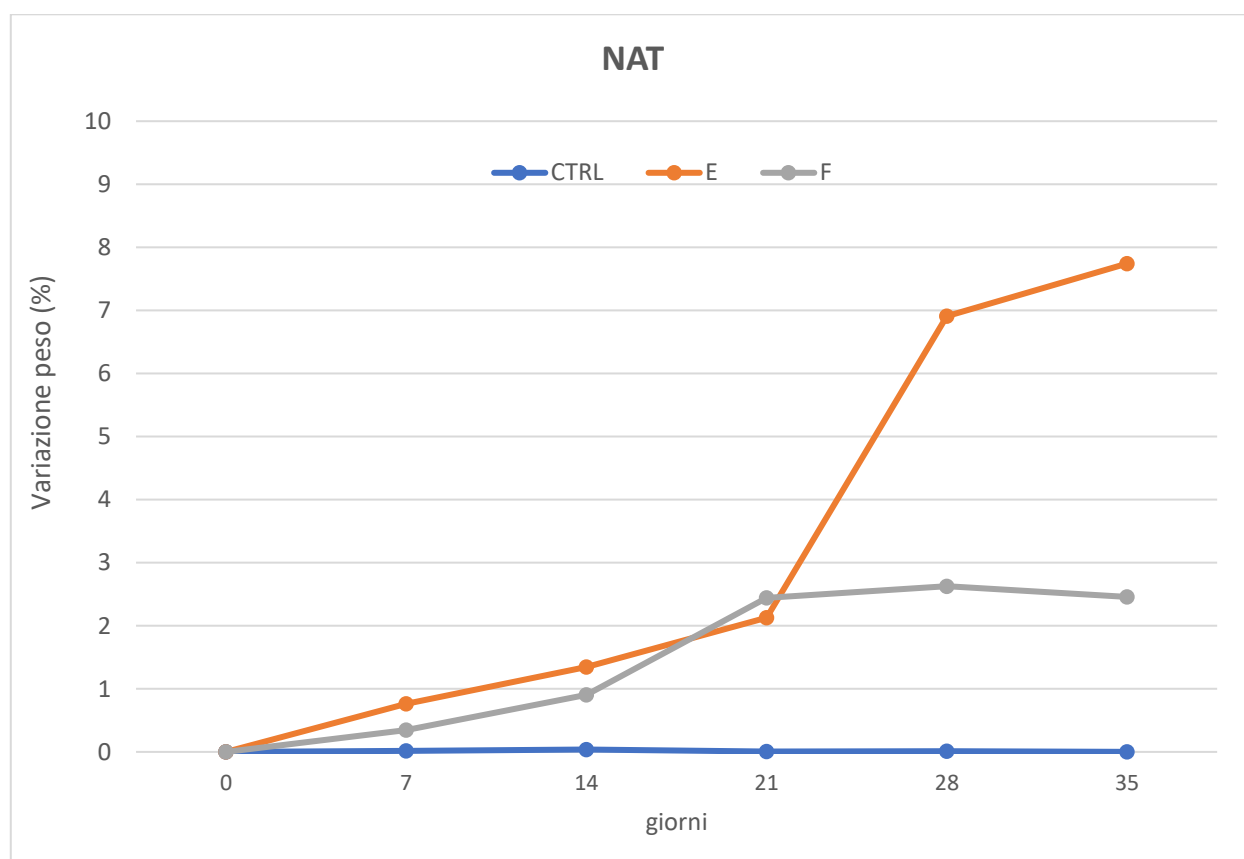
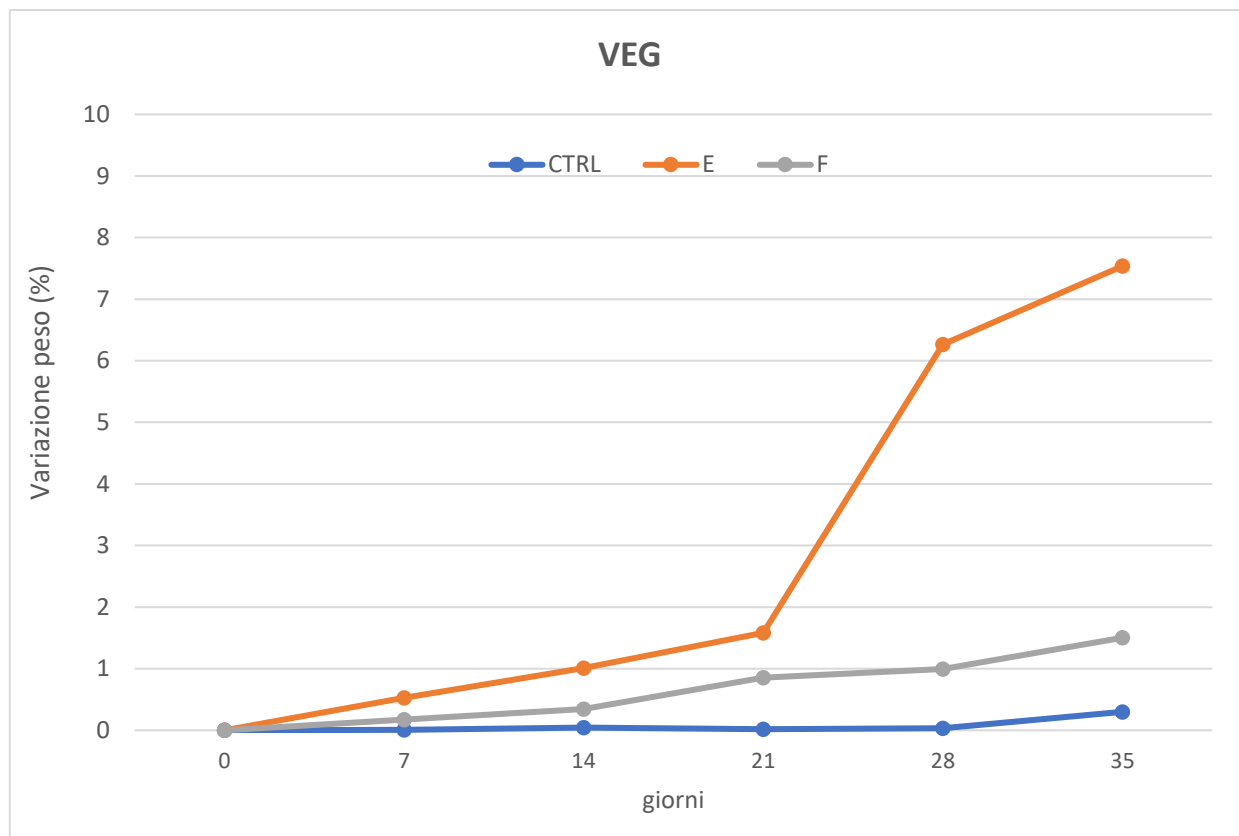


Figura 21 Variazione della massa del prodotto Tradition Deux



*Figura 22 Variazione della massa del prodotto H-veg*

Si conferma per il materiale standard A (CTRL) un'ottima resistenza all'umidità, testimoniata da un aumento in peso trascurabile pur in condizioni di conservazione ad elevata temperatura e umidità relativa. Entrambi i materiali test (E ed F) hanno mostrato performance inferiori rispetto al materiale standard, con variazioni in peso progressive durante in periodo di esame e particolarmente dopo 21 giorni per il materiale compostabile metallizzato (E). Tra i due materiali alternativi, F (PP metallizzato) ha mostrato prestazioni abbastanza vicine a quelle del materiale di controllo e comunque migliori rispetto ad E.

### 6.3 Analisi dell'Attività dell'Acqua (aw)

L'analisi dell'attività dell'acqua dei vari prodotti è stata condotta nella seconda fase delle analisi ed è avvenuta tramite il misuratore **Meter AquaLab 4TE (Meter Group, Inc., Pullman, WA, USA)** (Figura 10).



Figura 23 Dew point water activity meter AquaLab 4TE (Meter Group, Inc., Pullman, WA, USA)

I risultati ottenuti (Figure 20-22) vengono di seguito presentati per le diverse matrici analizzate nella seconda fase di analisi.

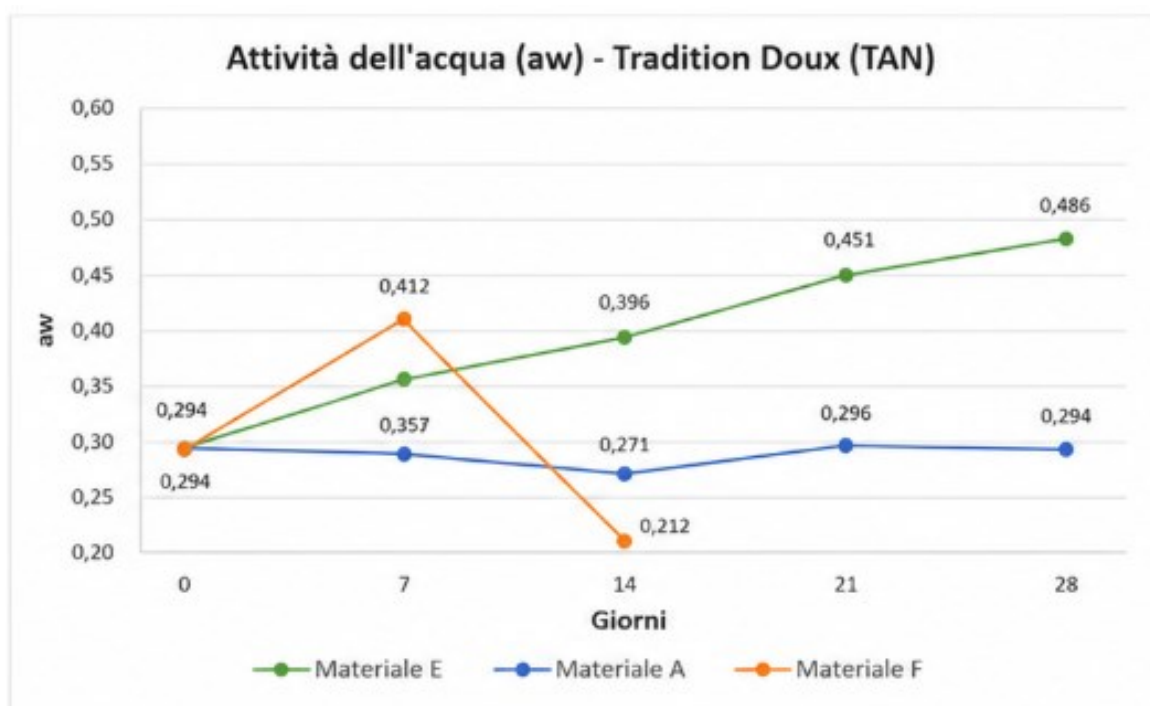


Figura 24 Variazioni dell'attività dell'acqua del prodotto Tradition Deux

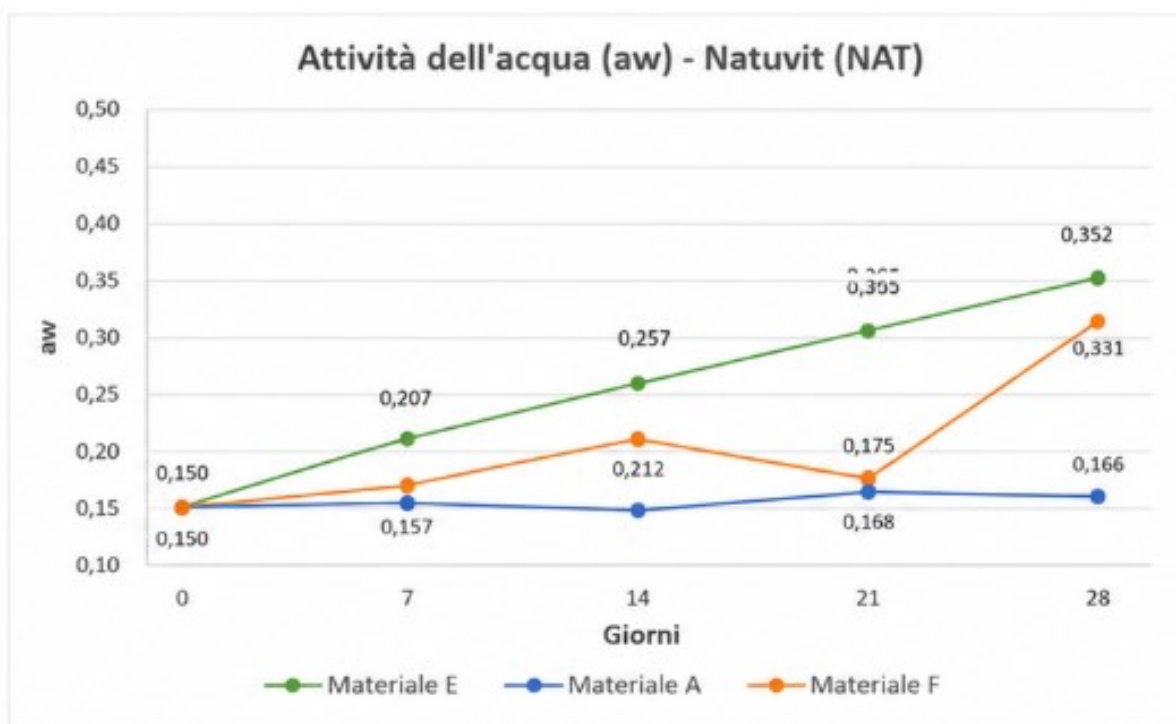


Figura 25 Variazioni dell'attività dell'acqua del prodotto Natuvit

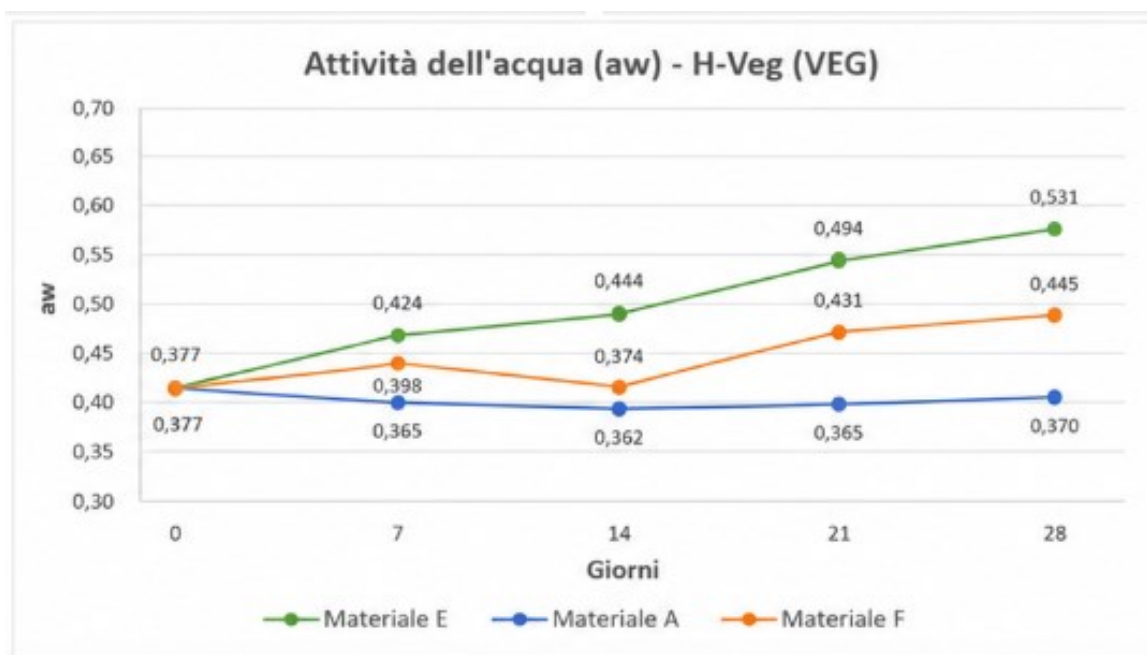


Figura 26 Variazioni dell'attività dell'acqua del prodotto H-Veg

Come si evince dai grafici durante le analisi il Materiale A si conferma il migliore, ovvero quello che ha mantenuto valori di attività dell'acqua più stabili durante il periodo di conservazione, mentre i materiali alternativi hanno evidenziato incrementi progressivamente maggiori.

Il materiale F, come nel caso delle pesate periodiche, si è rivelato il packaging con le performance più vicine a quelle del materiale A (controllo), confermando le buone prestazioni. Il materiale E ha invece registrato gli incrementi più marcati dell'attività dell'acqua e la peggiore delle performance tra i tre.

I risultati ottenuti confermano pertanto che le proprietà barriera del packaging influenzano direttamente la disponibilità di acqua libera all'interno del prodotto e, di conseguenza, la sua stabilità durante la conservazione.

#### 6.4 Variazione dell'umidità relativa dei campioni

Se consideriamo la natura dei prodotti oggetto di studio e la loro elevata sensibilità all'umidità la capacità di barriera alla UR è il requisito fondamentale richiesto ai materiali di confezionamento. Per questo motivo, oltre al monitoraggio delle variazioni di massa e dell'attività dell'acqua, è stato determinato il contenuto di umidità relativa. L'analisi di questo parametro è avvenuta durante la seconda fase delle analisi e secondo il metodo menzionato nei capitoli precedenti e consente di valutare direttamente la quantità di acqua assorbita dal prodotto nel corso della conservazione.

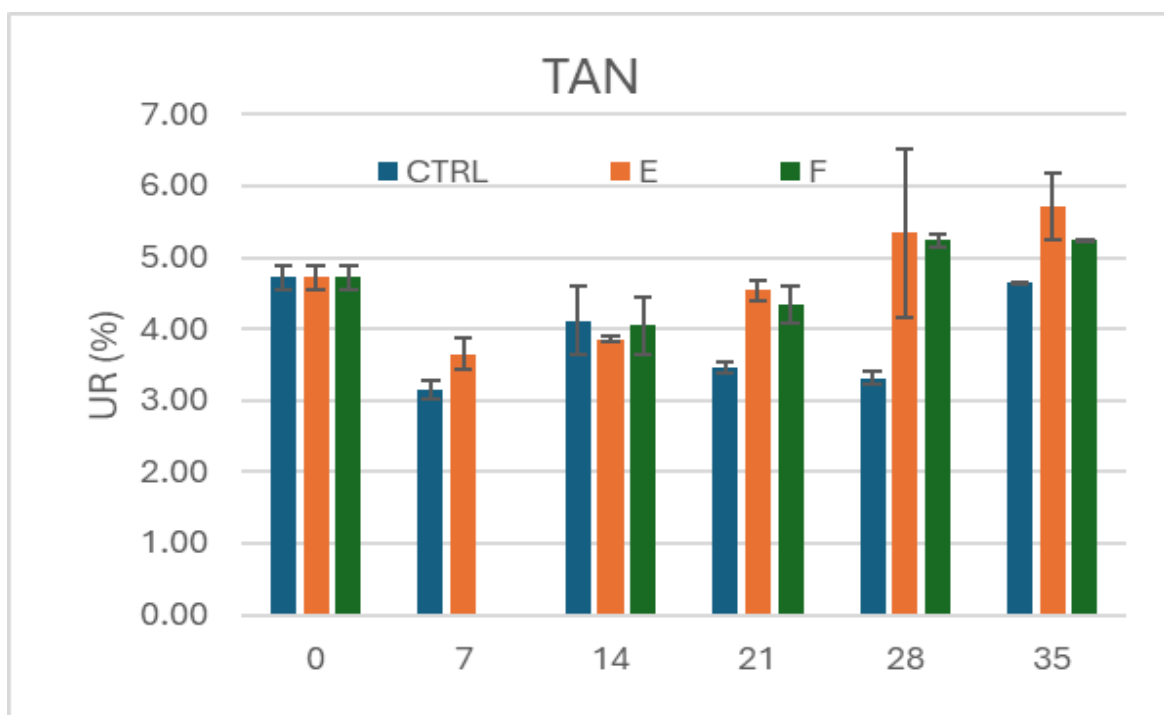


Figura 27 Variazione del contenuto di Umidità del prodotto Tradition Deux

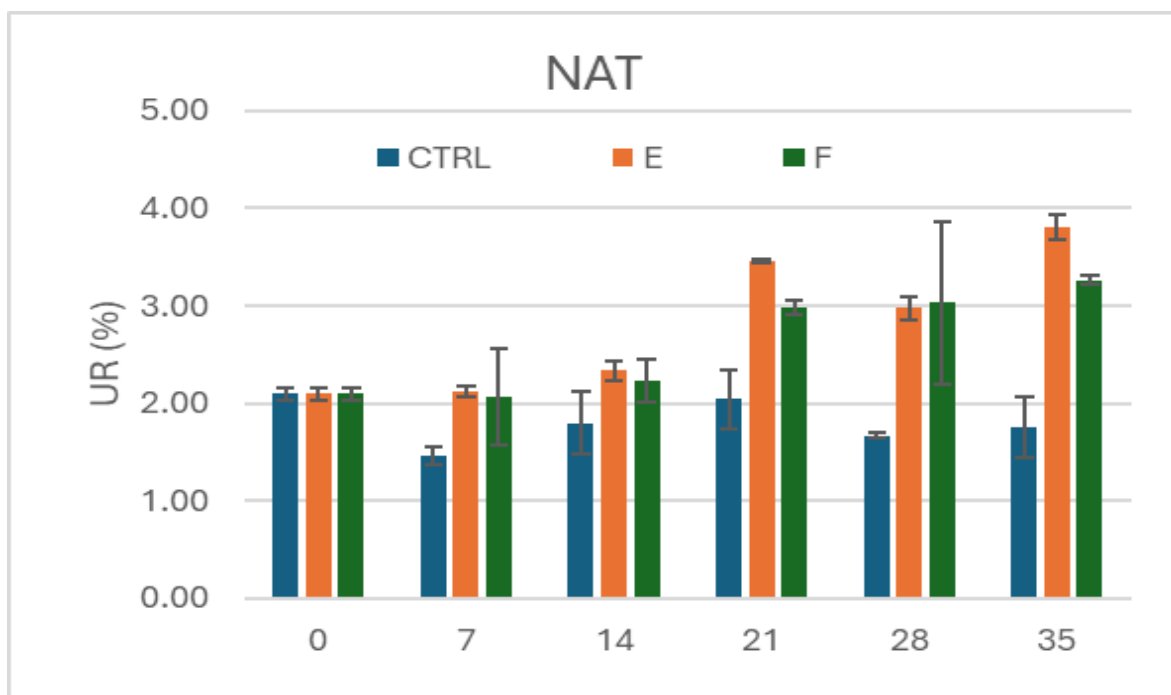


Figura 28 Variazione del contenuto di Umidità del prodotto Natuvit

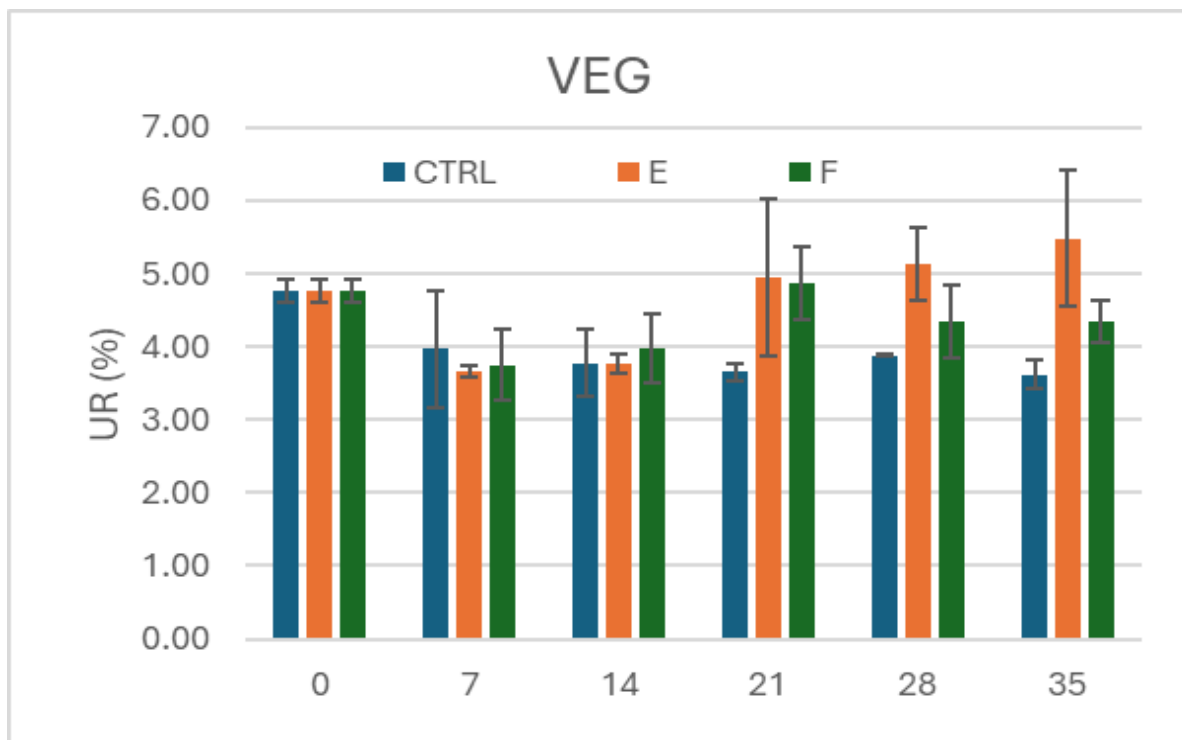


Figura 29 Variazione del contenuto di Umidità del prodotto H-veg

I risultati evidenziano valori iniziali di umidità di circa il 2% per il prodotto Natuvit, e intorno al 5% per Tradition Deux e H-veg. te le prove di conservazione in condizioni accelerate si osserva un aumento di UR per i campioni confezionati nei materiali E ed F, mentre l'UR delle polveri confezionate nel materiale di controllo si mantiene relativamente stabile.

I risultati confermano gli andamenti delle prove di variazione di massa e delle misurazioni dell'attività dell'acqua re sono conseguenza di una certa permeabilità al vapore acqueo dei materiali test e in alcuni casi anomali delle saldature delle confezioni.

## 6.5 Analisi del contenuto Fenolico Totale (TPC)

Prima di eseguire le analisi definitive si è reso necessario scegliere una procedura di estrazione adatta e rappresentativa. Per questo motivo sono state svolte alcune prove preliminari, nelle quali sono stati confrontati diversi passaggi di estrazione e differenti fattori di diluizione, con l'obiettivo di individuare il protocollo più adatto alle caratteristiche del prodotto analizzato. Le prove hanno mostrato che:

- la maggior parte dei polifenoli veniva estratta già durante il primo passaggio;
- La seconda estrazione contribuiva in misura decisamente inferiore alla estrazione fenolica;
- La terza estrazione, invece, forniva quantità trascurabili di composti fenolici e non apportava informazioni utili all'analisi.

Alla luce di questi pre-test il protocollo inizialmente previsto è stato modificato. La terza estrazione è stata eliminata, mentre il primo e il secondo estratto sono stati riuniti e portati a volume prima della determinazione spettrofotometrica.

Questa soluzione ha consentito di semplificare la procedura, migliorando al tempo stesso la ripetibilità delle misure. Le determinazioni del contenuto di polifenoli totali riportate nei paragrafi successivi sono quindi state eseguite utilizzando il protocollo così ottimizzato, ritenuto il più idoneo durante la seconda fase sperimentale.

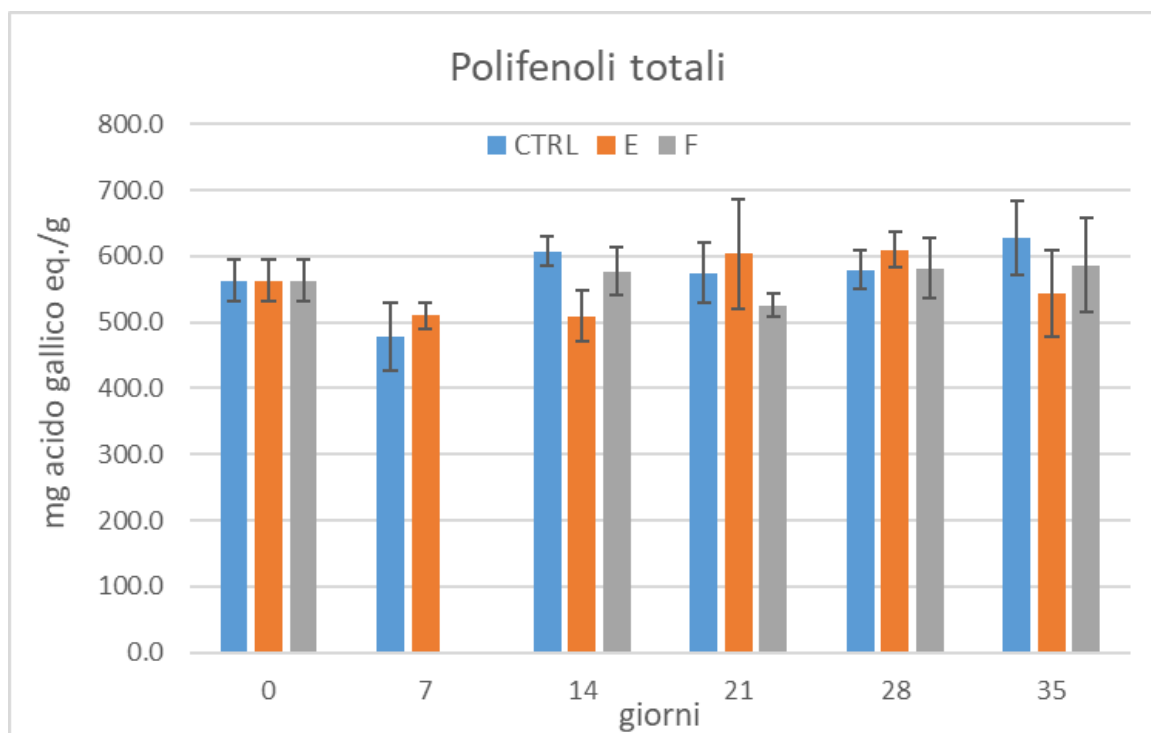


Figura 308 Evoluzione del contenuto di polifenoli totali nel prodotto Tradition Deux

Nel complesso, i risultati ottenuti indicano un contenuto di polifenoli totali del tannino enologico sostanzialmente stabile durante l'intera durata delle prove, senza evidenziare differenze significative tra i diversi materiali di confezionamento. Questo suggerisce che, nelle condizioni sperimentali adottate, nessuno dei materiali testati abbia inficiato significativamente frazione fenolica del prodotto.

I risultati confermano quindi che i materiali alternativi valutati sono stati in grado di preservare le caratteristiche del tannino in maniera simile al nostro controllo, indicando come il parametro dei polifenoli totali non sia un elemento discriminante per il confronto delle prestazioni dei diversi packaging alternativi. La valutazione complessiva dell'idoneità dei materiali deve essere quindi supportata dagli altri parametri monitorati nel corso dello studio, in cui l'influenza del packaging sulla conservazione è ben più visibile.

## 6.6 Valutazione dell'ossidazione lipidica mediante test TBA

L'analisi, come già detto in precedenza nell'elaborato, è stata condotta per determinare eventuali fenomeni di degradazione dei prodotti contenenti una frazione lipidica durante la conservazione. La degradazione col tempo può modificare e peggiorare le caratteristiche organolettiche del prodotto, influenzandone la qualità, la stabilità e quindi le performance in fase di utilizzo.

Nella fase preliminare del progetto era stato previsto di monitorare tale parametro sul prodotto B-Energia, selezionato per la presenza di componenti lipidici. Nel corso dello sviluppo della sperimentazione il piano di prova è stato parzialmente rivisto. Per la seconda campagna sperimentale si è deciso di concentrare l'analisi sul prodotto Natuvit, anch'esso contenente una frazione lipidica potenzialmente suscettibile, tale da giustificare l'analisi. Sebbene presenti una frazione lipidica inferiore rispetto a B-Energia, Natuvit contiene comunque una quota di lipidi sufficiente a consentire la valutazione dei fenomeni di ossidazione mediante il test TBA, risultando quindi una matrice idonea per confrontare l'efficacia dei diversi materiali di confezionamento nel preservare la stabilità del prodotto durante la conservazione accelerata.

L'analisi dei TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances) ha avuto l'obiettivo di verificare se le differenti proprietà barriera dei materiali di confezionamento fossero in grado di limitare i fenomeni ossidativi durante la conservazione accelerata, valutando l'eventuale influenza del packaging sulla stabilità ossidativa del prodotto

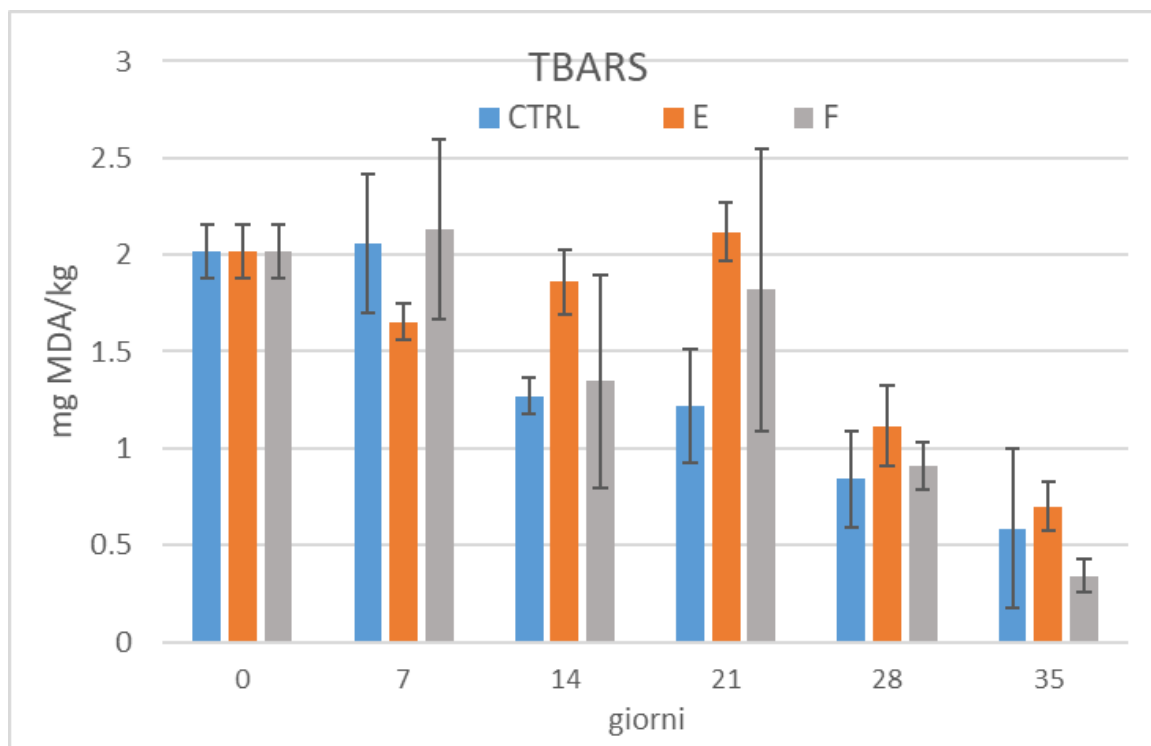


Figura 31 Evoluzione dei composti volatili derivati da degradazione lipidica

Durante la conservazione in condizioni accelerate, i risultati in figura mostrano un calo del parametro, non atteso ma probabilmente dovuto a una conversione dei precursori di ossidazione, senza ulteriore formazione di nuovi composti reattivi dell'ossigeno. Anche in questo caso, non si osservano differenze significative tra i campioni confezionati in materiali differenti.

## CAPITOLO 7

### CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente elaborato è stato quello di valutare le prestazioni di differenti materiali di confezionamento destinati agli additivi enologici, materiali innovativi sviluppati per rispondere alle sempre più attuali esigenze di sostenibilità.

Lo studio, condotto attraverso prove di conservazione accelerata, ha consentito di analizzare il comportamento di diverse soluzioni alternative di packaging per confronto con il materiale convenzionale.

Negli ultimi anni il settore degli imballaggi alimentari è interessato da una profonda evoluzione normativa. L'entrata in vigore del Regolamento (UE) 2025/40 rappresenta un cambiamento sostanziale nell'approccio alla progettazione degli imballaggi, ponendo particolare attenzione alla prevenzione dei rifiuti, all'incremento della riciclabilità e all'impiego di materiali maggiormente compatibili con i principi dell'economia circolare. In questo contesto, il tradizionale obiettivo di garantire elevate prestazioni barriera deve necessariamente essere conciliato con requisiti di sostenibilità ambientale e di progettazione orientata al riciclo (*design for recycling*).

L'attività sperimentale ha permesso di verificare se questi obiettivi possono coesistere con il mantenimento nel tempo della qualità del prodotto confezionato. I risultati ottenuti hanno infatti evidenziato che il materiale di riferimento mantiene prestazioni superiori sotto il profilo della protezione dall'umidità, confermandosi il sistema più efficace tra quelli analizzati. Le limitate variazioni di massa, i bassi valori di attività dell'acqua e il contenuto di umidità sostanzialmente costante dimostrano l'elevata capacità di protezione dello strato di alluminio.

Parallelamente, le prove hanno evidenziato come alcune strutture prive di foglio di alluminio siano oggi in grado di raggiungere prestazioni tecniche molto vicine a quelle del materiale tradizionale. In particolare, i materiali D ed F, hanno mostrato i risultati più promettenti tra le soluzioni alternative, evidenziando incrementi contenuti di massa, attività dell'acqua e contenuto di umidità. Sebbene nessuno dei materiali alternativi abbia completamente eguagliato il comportamento del materiale di controllo, i risultati dimostrano come l'impiego di film metallizzati ad alta barriera possa rappresentare una valida strategia per ridurre la complessità delle strutture tradizionali.

Diverso è il caso del materiale E, costituito da un film compostabile metallizzato accoppiato a carta. Pur rappresentando una soluzione di particolare interesse dal punto di vista ambientale, le prove

sperimentali mostrano prestazioni inferiori rispetto al materiale F, confermando come l'introduzione di materiali maggiormente sostenibili richieda ancora un'importante fase di studio.

Le analisi effettuate hanno anche consentito di valutare l'influenza dei materiali di confezionamento sulla stabilità dei prodotti. Le determinazioni del contenuto dei polifenoli totali nel campione di tannino e dell'ossidazione lipidica nel campione di estratto di lievito, non ha evidenziato variazioni significative durante la conservazione accelerata, indicando una buona stabilità di questi prodotti in qualsiasi condizione di confezionamento.

Nel complesso, il lavoro svolto conferma come la sostituzione dei tradizionali accoppiati contenenti alluminio rappresenti una sfida tecnologica complessa, ma non per questo da non accettare.

I risultati ottenuti costituiscono pertanto un piccolo contributo allo sviluppo di nuovi sistemi di confezionamento per gli additivi enologici e forniscono indicazioni concrete per la progettazione di materiali capaci di coniugare prestazioni tecniche e sostenibilità ambientale.

Future attività di ricerca potranno approfondire il comportamento dei materiali in condizioni diverse, estendere la sperimentazione ad altre matrici enologiche e integrare le valutazioni con analisi di tipo ambientale, così da ottenere una valutazione complessiva dell'intero ciclo di vita dell'imballaggio.

## BIBLIOGRAFIA

- Regolamento (CE) n. 1935/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 ottobre 2004, relativo ai materiali e agli oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari, in particolare art. 3 (requisiti generali di sicurezza).
- Regolamento (UE) 2022/1616 della Commissione del 15 settembre 2022, relativo ai materiali e agli oggetti di plastica riciclata destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari, in particolare artt. 4–7 (condizioni per l'immissione sul mercato e autorizzazione dei processi di riciclo).
- Direttiva 94/62/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 dicembre 1994 sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio, in particolare art. 1 (finalità) e art. 6 (recupero e riciclaggio)
- European Commission. (2022). *Assessment of options for reinforcing the Packaging and Packaging Waste Directive's essential requirements and other measures to reduce the generation of packaging waste*. Publications Office of the European Union, Brussels. (p.6).
- European Commission. (2025). *Packaging waste*. Directorate-General for Environment. <https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste>  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en)
- Parlamento Europeo, *Revision of Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste*, European Parliamentary Research Service (EPRS), 2022.
- European Economic and Social Committee (EESC), *Making packaging a safe, affordable and eco-friendly industry*, 2022.
- Regolamento (CE) n. 1935/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 ottobre 2004, relativo ai materiali e oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari.
- Regolamento (CE) n. 2023/2006 della Commissione del 22 dicembre 2006, sulle buone pratiche di fabbricazione dei materiali e oggetti destinati a venire a contatto con alimenti.
- Regolamento (UE) n. 10/2011 della Commissione del 14 gennaio 2011, relativo ai materiali e oggetti di plastica destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari.
- EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF), *Scientific Opinion on the safety assessment of the process “FOOD RePET FGI. H.” used to recycle post-consumer PET into food contact materials*, EFSA Journal, 2014;12(5):3705. DOI: 10.2903/j.efsa.2014.3705.
- EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP), *Scientific Guidance on the criteria for the evaluation and on the preparation of applications for the safety*

*assessment of post-consumer mechanical PET recycling processes intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food*, EFSA Journal, 2024;22(7):8879. DOI: 10.2903/j.efsa.2024.8879.

- European Commission, *Food Contact Materials – Plastic recycling*, Directorate-General for Health and Food Safety, 2023.
- Eurostat, *Packaging waste statistics*, 2025.
- UNI 11743:2019, *Imballaggi – Criteri per la valutazione della riciclabilità degli imballaggi*, Ente Italiano di Normazione, 2019.
- CONAI, *Guida al Contributo Ambientale CONAI*, 2023.
- CONAI, *Relazione generale sulla gestione dei rifiuti di imballaggio*, 2023.
- HTS Enologia, *Azienda*, disponibile su [www.hts-enologia.com/azienda/](http://www.hts-enologia.com/azienda/) (02/06/2026)
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology. Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments* (2nd ed.). John Wiley & Sons. (p. 194 – 322 – 377)
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology. Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Chapter 9.4.3 “Using Gum Arabic to Stabilize Clarity”, pp. 298–300.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent*. Methods in Enzymology, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). *Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>

## RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al **Prof. Fabio Licciardello**, relatore di questa tesi, per la disponibilità, la professionalità e la costante guida durante tutto il percorso di ricerca. I suoi consigli, e il continuo supporto, sia nelle attività di laboratorio sia durante la stesura dell'elaborato, hanno rappresentato un punto di riferimento fondamentale per la realizzazione di questo lavoro.

Un sentito ringraziamento va inoltre al **Dott. Andrea Feroce**, il cui contributo è stato determinante in tutte le fasi della sperimentazione. La disponibilità, la competenza e il tempo dedicatomi durante le attività di laboratorio hanno contribuito in maniera significativa alla riuscita del progetto.

Desidero ringraziare la Presidente del Corso, la **Professoressa Maria Gullo** che, con una semplice telefonata, ha saputo ridarmi la motivazione necessaria per rimettermi in gioco e trovare la determinazione per portare a termine un percorso che avevo accantonato per molti anni.

Ringrazio profondamente la mia famiglia, che con il suo affetto, il sostegno e la fiducia mi ha sempre incoraggiato nel perseguire i miei obiettivi, accompagnandomi in ogni fase del mio percorso universitario.

Un ringraziamento speciale è rivolto alla mia Greta, che con pazienza, comprensione e presenza costante è sempre stata al mio fianco. Il suo supporto nei momenti di difficoltà e la sua capacità di incoraggiarmi hanno rappresentato un aiuto prezioso per raggiungere questo importante traguardo.

Infine, desidero ringraziare tutte le persone che, direttamente o indirettamente, consapevolmente o anche solo con un piccolo gesto, hanno contribuito alla realizzazione di questo elaborato e al raggiungimento di questo nuovo obiettivo personale e professionale. A tutti loro va la mia più sincera riconoscenza.