



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

BIOIMBALLAGGI INNOVATIVI: PROVE SPERIMENTALI E CRITICITÀ

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:
FILIPPO SABATINI

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

ELENCO DELLE TABELLE	4
ELENCO DELLE FIGURE	6
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	7
CAPITOLO 1 ASPETTI NORMATIVI	16
1.1 Norma tecnica UNI EN 13428:2005.....	16
1.2 Norma UNI EN ISO 4180.....	18
1.3 Prova di resistenza all'accelerazione centrifuga	20
1.3.1 Apparecchiatura: tavola vibrante	20
1.3.2 Sistema di misurazione delle vibrazioni, di memorizzazione dei dati e di controllo.....	21
1.3.3 Procedimento	21
1.3.4 Densità spettrali di potenza di prova (PSD).....	23
1.4 Identificazione delle facce	25
1.4.1 «Imballaggi a forma parallelepipedica	25
1.5 Prove d'urto verticale.....	26
1.5.1 Apparecchiatura	26
1.5.2 Procedimento	27
1.6 Prove d'urto orizzontale.....	28
1.6.1 Apparecchiatura	28
1.6.2 Apparecchiatura del pendolo	29
1.6.3 Procedimento	29
1.6.4 Prova del pendolo	29
1.7 Condizionamento termico	30
1.7.1 Condizioni atmosferiche	30
1.7.2 Tolleranza	31
1.7.3 Apparecchiatura.....	32
1.7.4 Procedimento	32
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI	34
2.1 Materiali.....	34
2.1.1 Caratteristiche qualitative	35
2.1.2 Caratteristiche geometriche e massa di calotte e involucri.....	35

2.2 Metodi	35
2.2.1 Prova di flessione.....	36
2.2.2 Resistenza all'accelerazione centrifuga	36
2.2.3 Prove d'urto	37
2.2.4 Identificazione delle facce	37
2.2.5 Prove d'urto verticali	37
2.2.6 Prove d'urto laterale.....	38
2.2.7 Prove di condizionamento termico	39
CAPITOLO 3 PROVE E RISULTATI	40
3.1 Materiali.....	40
3.2 Prove di flessione.....	42
3.3 Resistenza all'accelerazione centrifuga	43
3.4 Prove d'urto verticale.....	44
3.5 Prove d'urto laterale.....	45
3.6 Prove di condizionamento.....	46
3.7 Valutazioni complessive	48
CAPITOLO 4 CONCLUSIONI	59
CAPITOLO 5 BIBLIOGRAFIA	61

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Densità spettrale	22
Tabella 1-2: Parametri di prova casuali preferiti: intervalli di frequenza di prova	24
Tabella 1-3: Parametri di prova casuali preferiti: accelerazioni quadratiche medie	24
Tabella 1-4: Parametri di prova casuali preferiti: durate di prova	24
Tabella 1-5: Condizioni atmosferiche	30
Tabella 2-1: Codifica delle calotte e dei campioni di involucro assemblati	34
Tabella 3-1: Descrizione di parametri geometrici e qualitativi delle calotte	41
Tabella 3-2: Livelli di deformazione rispetto all'orizzontale subiti dalle singole calotte con l'applicazione del grave	43
Tabella 3-3: Reazione di packaging primario (bottiglia) e packaging secondario (calotta) a seguito dell'urto verticale testato sulle tre facce diverse del parallelepipedo	44
Tabella 3-4: Reazioni di packaging primario e secondario a seguito di urto laterale testato su faccia 1 e faccia 2	45
Tabella 3-5: Quesiti di valutazione e loro peso	48
Tabella 3-6: Valutazione delle singole calotte	48
Tabella 3-7: Frequenza di valutazione per ogni quesito	49
Tabella 3-8: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E1a	50
Tabella 3-9: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E1b	50
Tabella 3-10: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E2a	51
Tabella 3-11: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E2b	51
Tabella 3-12: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E3a	52
Tabella 3-13: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E3b	52
Tabella 3-14: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E4a	53

Tabella 3-15: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E4b	53
Tabella 3-16: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E5a	54
Tabella 3-17: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E5b	54
Tabella 3-18: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E6a	55
Tabella 3-19: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E6b	55
Tabella 3-20: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E7a	56
Tabella 3-21: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E7b	56
Tabella 3-22: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E8a	57
Tabella 3-23: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E8b	57

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Profilo di densità spettrale di potenza	23
Figura 1-2: Numerazione facce di un parallelepipedo	26
Figura 2-1: Sistema di applicazione della flessione. Senza grave a sinistra; con grave a destra	36
Figura 2-2: Identificazione delle facce dell'involucro	37
Figura 2-3: Dispositivo per prove d'urto verticale con impatto sulla faccia 1 (a sinistra) e 2 (a destra).....	38
Figura 2-4: Dispositivo per le prove d'urto orizzontale con impatto sulla faccia 2 (a destra) e sulla faccia 1 (a sinistra).....	39
Figura 3-1: Calotte per bottiglie da olio con fondo pieno (a sinistra) e con fondo modellato con la sagoma della bottiglia (a destra).....	42
Figura 3-2: Evoluzione del contenuto di umidità relativa interno al packaging secondario durante la prova di condizionamento (il tempo indicato si riferisce al momento del campionamento del dato, intercorso ogni 42 secondi).....	47
Figura 3-3: Evoluzione della temperatura interna al packaging secondario nel corso della prova di condizionamento (il tempo indicato si riferisce al momento del campionamento del dato, intercorso ogni 42 secondi)	47

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

L'intero sistema economico reale a scala mondiale si trova attualmente, e da ormai diversi anni, a fronteggiare problemi contingenti come il cambiamento climatico, l'aumento di gas serra l'inquinamento e la potenziale scarsità di risorse fossili che affondano le loro radici nel passato secolo e nel primo ventennio del nuovo millennio. L'economia lineare, sistema dominante a partire dalla seconda metà del '900 ha avuto fino ad oggi, uno sviluppo sfrenato grazie alla larga diffusione dei combustibili fossili come fonte energetica ma anche come fonte di materiali versatili e di relativa economicità. Il caso forse più emblematico in tal senso è rappresentato dalla diffusione di oggetti in plastica usa e getta a basso costo che si possono ritrovare in tutti i settori e filiere produttive fino (e forse in maggior parte) al consumatore finale. Sebbene le plastiche rappresentino un materiale di elezione per moltissime applicazioni, lo smaltimento, cioè la gestione come rifiuto, e il riciclo rappresentano oggi una delle più complesse problematiche a livello ambientale.

La contaminazione da materiale plastico non conosce barriere e si stima che nel 2010 potrebbero essere state riversate nelle acque degli oceani quantità di plastica variabili tra 4.8 e 12.7 milioni di tonnellate provenienti da 192 regioni costiere (UNEP/MAP, 2015). Le plastiche disperse nell'ambiente vanno incontro a degradazione meccanica frammentandosi in microparticelle di dimensioni inferiori a 5 mm e chiamate microplastiche. Nel Mare Mediterraneo esiste una sesta isola di plastica formata da microplastiche disperse e diffuse nelle acque del bacino che, pur costituendo solo l'1% delle acque del pianeta, contengono ben il 7% della quantità complessiva delle microplastiche presenti nell'idrosfera terrestre (WWF, 2018). L'abbondanza di residui plastici dispersi in mare rappresenta una grave minaccia per gli organismi viventi. Le microplastiche, proprio a causa delle minuscole dimensioni, vengono ingerite dalla fauna marina, entrando nella catena alimentare e diffondendosi ovunque, basti pensare che se ne è rilevata la presenza non solo in alimenti come il sale, ma persino nell'aria e nell'acqua potabile, impattando negativamente sull'ambiente e sulla salute collettiva.

L'unione europea, di fronte all'emergenza mondiale legata all'inquinamento da plastiche, è intervenuta adottando misure a livello comunitario volte a ridurre l'impatto ambientale legato all'utilizzo di questo materiale di largo consumo. A partire dal 2 dicembre del 2015, data in

cui fu emanato il piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare, vennero elaborate delle strategie volte al passaggio da un'economia lineare ad un'economia circolare aumentando la percentuale di plastica riciclata, che nel 2015 rappresentava solo il 25%. Oggi sono immessi al consumo 2,3 milioni di tonnellate di imballaggi e, secondo il CONAI, ne vengono avviati a riciclo 1,26 milioni, pari al 55,6%: in pratica, appena al di sopra dell'obiettivo UE del 55% che dovrebbe essere raggiunto entro il 2030 (Rinnovabili.it, 2023). La direttiva UE/2019/904, atto vincolante che gli Stati membri sono stati obbligati a recepire entro il 3 luglio 2021, detta una serie di prescrizioni volte a prevenire e ridurre l'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente acquatico e sulla salute, promuovendo la transizione verso un'economia circolare e l'adozione di modelli imprenditoriali innovativi e sostenibili. Tale direttiva riguarda e regola, in particolare: i prodotti di plastica monouso, quelli cioè non concepiti per essere riutilizzati o riciclati, e gli attrezzi da pesca, usati per catturare o allevare risorse biologiche marine. (Belviso, 2020).

L'introduzione di queste norme per la salvaguardia ambientale ha portato gli enti di ricerca e le industrie a sviluppare materiali innovativi sostenibili che possano sostituire l'uso della plastica su larga scala. La caratteristica prioritaria ricercata nei materiali candidati alla sostituzione della plastica è la biodegradabilità, cioè la capacità di un materiale di essere degradato in sostanze più semplici attraverso l'attività enzimatica di microorganismi. In questi materiali al termine del processo di biodegradazione le sostanze organiche di partenza vengono alterate e trasformate in molecole inorganiche semplici ovvero acqua, anidride carbonica e metano, senza il rilascio di sostanze inquinanti. (Luciani, 2020). Tenendo conto di queste esigenze è stato creato un materiale innovativo, utilizzando fonti organiche, con caratteristiche di leggerezza e resistenza molto simili alla plastica: la bioplastica. Questa ha la caratteristica di degradarsi nell'ambiente in tempo rapido creando inquinamento ambientale molto ridotto rispetto alle plastiche ottenute partendo da fonti fossili. Tuttavia, la produzione di bioplastiche presenta ad oggi alcuni problemi che ne limitano la diffusione:

- Alto costo di produzione (il processo di produzione industriale non è ancora in grado di competere con quello di produzione di plastiche ottenute da fonti fossili).
- Costo ambientale del trasporto di biomateriale costituente le bioplastiche (quando questo non è reperibile nella zona di produzione delle bioplastiche).
- Inesistente tutela legislativa riguardante l'approvvigionamento delle biorisorse impiegate per la produzione.

Invece, i punti di forza che potrebbero incrementarne la produzione sono:

- Abbondanza di materia prima a basso costo.
- Politiche messe in atto che vietano l'utilizzo di plastiche sintetiche in alcuni prodotti.

- Prestazioni e qualità paragonabili alle plastiche ottenute da fonti fossili.

La ricerca di soluzioni alternative all'utilizzo della plastica ha consentito lo sviluppo di nuove filiere di valorizzazione dei sottoprodotti e dei prodotti di scarto creando un'economia circolare della filiera produttiva. I materiali che entrano nella composizione delle bioplastiche sono i biopolimeri ovvero macromolecole polimeriche prodotte da materie prime biologiche, contenenti unità monomeriche legate covalentemente per formare grandi strutture come: amido, cellulosa e chitosano. Il biopolimero attualmente più utilizzato è il PLA o acido polilattico che viene prodotto dal destrosio (zucchero) estratto da materiali a base biologica. Il PLA la bioplastica, attualmente prodotta in impianti industriali in tutto il mondo e presenta numerose proprietà positive che ne fanno un ingrediente essenziale in alcune miscele o prodotti multimateriali per migliorare le caratteristiche dei prodotti finiti. Il PLA può essere paragonato soprattutto al PET (polietilene tereftalato, appartenete alla famiglia dei poliesteri sintetici) e può essere prodotto e lavorato sulle stesse linee di produzione, tuttavia essendo igroscopico, prima di essere lavorato o compostato deve essere essiccato. I prodotti costituiti di PLA possono essere compostati in impianti industriali in cui possono essere controllati calore e umidità; infatti, ogni tipologia di PLA è in possesso del certificato di compostabilità ai sensi della norma EN 13432. Il PLA ha una notevole igroscopicità, questo influenza la sua biodegradabilità. Il materiale si decompone rapidamente sopra i 60° di temperatura, in condizioni di umidità elevata. Infatti, in un impianto di compostaggio a 60°, una coppetta di yogurt in PLA si biodegrada in 47 giorni. Purtroppo, questo enorme valore aggiunto si perde se il PLA viene riciclato insieme alla plastica tradizionale. Infine, considerando che il 42% della plastica consumata in Italia viene utilizzata nel settore degli imballaggi e dell'usa e getta, il 12% nell'edilizia e il 7% nel settore automotive (Anon., 2022), nasce l'esigenza di applicare l'uso dei materiali biodegradabili al settore del packaging. Oggi, principalmente, le bioplastiche vengono utilizzate per l'imballaggio dei prodotti alimentari, proteggendoli durante le varie fasi logistiche e di conservazione. Le caratteristiche prioritarie dei packaging moderni richieste dal mercato sono:

- Stabilità nel tempo dei biomateriali a contatto con il cibo per evitare alterazione del prodotto durante la conservazione.
- Conferire al prodotto adeguate proprietà di resistenza termica e meccanica durante le fasi di manipolazione e di trasporto su lunghe distanze.
- Aspetto estetico attraente per il consumatore in grado di conferire un valore aggiunto al prodotto contenuto.

Queste funzioni sono di notevole importanza ed è fondamentale controllare, verificare e modificare le capacità meccaniche estetiche del packaging rendendolo specifico per la tipologia di prodotto contenuto.

Negli ultimi anni, enti pubblici e privati hanno messo a disposizione risorse importanti per lo sviluppo della ricerca nel settore dei biopackaging, al fine di produrre imballaggi innovativi capace di attribuire un valore aggiunto al prodotto contenuto. Sostenibilità e circolarità sono i principi cardine che guidano la ricerca ma le soluzioni proposte devono prendere in considerazione anche l'esigenza di produzione su larga scala.

L'imballaggio degli alimenti rappresenta ad oggi una tematica molto discussa anche grazie alla crescente consapevolezza e sensibilità dei consumatori riguardo al problema dell'inquinamento ambientale e allo smaltimento dei rifiuti.

La ricerca di materiali alternativi ai prodotti di sintesi, ottenuti ad elevato impatto ambientale, costituisce una valida alternativa per l'economia, da sviluppare sul piano della produzione industriale. In particolare, uno dei principali problemi dell'industria alimentare è rappresentato dallo smaltimento degli scarti di lavorazione.

Questa problematica ha portato allo sviluppo di numerose ricerche e progetti dei quali di seguito si riportano alcuni esempi emblematici.

Il primo progetto evidenziato ha visto la collaborazione di più istituti afferenti al CNR (Istituto di Chimica Biomolecolare, Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri, Istituto di Scienze dell'Alimentazione), e riguardava la manipolazione dei residui industriali e la loro conversione in risorse potenzialmente utili soprattutto per quei paesi come l'Italia che sono poveri in materie prime tradizionali e ricchi di risorse naturali.

Nel dettaglio le attività hanno riguardato la trasformazione e i sottoprodotti della filiera del pomodoro.

In Italia, ove le industrie agroalimentari conserviere rappresentano un importante settore per l'economia, la trasformazione industriale di pomodoro in pelati, polpe e triturati, passata e concentrato ricopre quasi il 70% della produzione e vede impegnati circa 200 stabilimenti. (Anon., 2008).

Lo smaltimento degli scarti di lavorazione ha una notevole ricaduta sulla comunità in termini di costi e di inquinamento dell'ambiente.

Dalla trasformazione industriale del pomodoro si ottengono scarti di lavorazione solidi, che derivano in parte dai difetti riscontrati sulla materia prima in arrivo (pomodori immaturi o con gravi difetti di pigmentazione; pomodori lesionati sia per cause meccaniche sia per azione microbica) e in parte dal processo di lavorazione e trasformazione (residui di lavorazione, scarti di raffinazione, di pulitura, bucce e semi).

Il lavoro svolto dal gruppo di ricerca ha avuto come principale obiettivo la nobilitazione di semi e bucce per il recupero di biomolecole d'interesse quali i polisaccaridi. È stato messo a

punto un metodo a basso impatto ambientale per l'estrazione di polisaccaridi a partire dagli scarti di lavorazione del pomodoro. L'obiettivo della ricerca è quello di sostituire il polistirene da cui sono composti i contenitori alveolati per la produzione di piantine in vivaio, con un materiale completamente biodegradabile. È stato preparato un prodotto a base di polisaccaridi di origine agricola rinforzati con fibre provenienti dalla lavorazione del pomodoro. I contenitori ottenuti risultano molto leggeri e resistenti; inoltre, essendo ottenuti da materie prime completamente biodegradabili, possono essere interrati con le piantine. In questo modo la flora microbica del terreno e la pressione delle radici in crescita contribuiscono ulteriormente alla degradazione del contenitore che si completa nel giro di alcune settimane. Il contenitore diventa quindi ammendante e fertilizzante e le piantine non subiscono lo shock da trapianto. L'utilizzo di questi contenitori rende più agevoli le operazioni di trapianto (non si deve effettuare la scalzatura delle piantine), ed evita l'onere di smaltire i contenitori vuoti in post-trapianto. (Anon., 2008). È chiaro che tale esperienza potrebbe essere estesa anche al settore degli imballaggi dove materiali come il polistirene (espanso principalmente) sono largamente impiegati.

Valorizzare gli scarti di produzione del pomodoro per la creazione di un bio-packaging integralmente ecosostenibile è stato l'obiettivo del progetto sviluppato dal Pulp and Paper Institute di Lubiana, in collaborazione con Lušt, il più grande produttore di pomodori in Slovenia. È stata ideata e realizzata una confezione di cartone ondulato composto da gambi di pomodoro e altri scarti agricoli. Il punto di partenza sono gambi di pomodori provenienti dall'agricoltura locale, in ottica ovviamente di una circolarità in cui nulla viene sprecato. Questa preziosa biomassa viene raccolta e trasformata nei rivestimenti e nelle scanalature che compongono il cartone. Il risultato è un prodotto costituito per oltre il 50% di fibra di pomodoro, e poi da fibra di legno già disponibile in commercio, legati da additivi biologici e coloranti naturali, per assicurare le giuste proprietà di resistenza ad acqua e vapore. Il risultato è quindi un cartone resistente e riciclabile, che però, grazie alla speciale fibra di pomodoro, si caratterizza per la sua estrema leggerezza e flessibilità.

I test sono molto promettenti, ma l'Istituto solleva comunque questioni importanti. Infatti, la maggior parte delle materie prime alternative alla bioplastica e ad altri prodotti standard sono soggette a variazioni e a stagionalità dei raccolti. Sarà importante quindi valutare la disponibilità e la reperibilità del materiale organico per la produzione su larga scala, il che si riflette in alti costi logistici. (Rossi, 2022).

La realizzazione di un altro packaging innovativo per alimenti è stata oggetto della ricerca congiunta all'interno del progetto "Save the waste" con la produzione di carta per imballaggio

di alimenti utilizzando parte degli scarti di lavorazione dei fagioli, totalmente riciclabile e certificato FSC.

L'innovativo imballaggio è stato sviluppato grazie ad un progetto di ricerca congiunto che ha coinvolto Pedon, tra i big player mondiali di distribuzione di prodotti alimentari all'ingrosso, Favini, cartiera vicentina conosciuta per utilizzare gli scarti di lavorazione agro-industriali per la produzione di carta ecologica, e LucaPrint che opera nel settore grafico cartotecnico da più di sessant'anni.

Il progetto consiste nella creazione di una carta sostenibile e riciclabile ottenuta dagli scarti di lavorazione dei fagioli, certificata per il contatto diretto con gli alimenti: una novità assoluta nel mercato, presentata in occasione di Expo Milano 2015.

La materia prima deriva dalla selezione di fagioli coltivati da famiglie di agricoltori all'interno di programmi per lo sviluppo economico e agricolo. Un accordo di coltivazione realizzato in collaborazione con la Cooperazione Italiana allo Sviluppo, siglato nel 2013 da ACOS Ethiopia PLC, società del Gruppo Pedon, con due Unions (le cooperative agricole che lavorano nello stato di Oromia della Repubblica Federale di Etiopia).

Favini ha sviluppato la tecnologia "Carta Crush" che riduce del 15% l'impiego di cellulosa vergine proveniente da alberi e diminuisce del 20% l'emissione di gas effetto serra. Il risultato della ricerca è la produzione di una carta da eco-packaging Ogm free che racchiude il 30% di fibra riciclata post-consumo e compatibile con il contatto diretto con il prodotto, eliminando così la busta interna al pack.

La confezione prodotta sarà utilizzata da Pedon per confezionare lenticchie, sarà stampata con inchiostri ecologici, la finestra trasparente sarà realizzata con il Pla così da rendere il packaging eco-sostenibile e al 100% riciclabile. (Anon., 2015).

Numerosi sono i prototipi sviluppati e gli imballaggi immessi in commercio fabbricati basandosi sull'utilizzo di materie biologiche. Ad esempio, una risorsa utilizzata dall'azienda tedesca Enkev è la fibra di cocco che viene usata per produrre fibre naturali utilizzate come imbottiture e rivestimenti per materassi o anche per imballaggi. In quest'ultimo caso, una delle sue linee di maggior successo è COCOFORM, che comprende vassoi, scatole o contenitori in fibra di cocco e adesivo organico. Questi contenitori sono impermeabili e molto resistenti agli urti.

Anche il più "comune" mais può rappresentare un'ottima alternativa per il confezionamento, soprattutto alimentare. È quest'ultimo il caso dell'azienda biochimica olandese Avantium che ha sviluppato un progetto per creare e produrre packaging da zucchero

di mais, con vita utile di un anno. Aziende come Coca-Cola e Carlsberg hanno già investito per ottenere un rivestimento protettivo per le loro bottiglie con questo materiale.

Altre esperienze coinvolgono il bambù, un materiale molto robusto che resiste alle alte temperature ed è facile da coltivare. Su questo materiale è coinvolta l'azienda spagnola Patatas Lázaro, attraverso il suo marchio Freshnatur, che ha introdotto sul mercato un contenitore in carta e rete di bambù che contiene inchiostri a base d'acqua e colle di origine vegetale biodegradabile al 100%.

Un ulteriore esempio è fornito da un'azienda indonesiana attiva nel cercare alternative agli articoli in plastica monouso, come bicchieri, cannuce e posate che ha iniziato a utilizzare le alghe per produrre due tipi di packaging: da un lato, i biodegradabili, per confezionare prodotti non alimentari, e dall'altro, quelli biodegradabili e commestibili, che vengono utilizzati come packaging alimentare. Il gusto è neutro (non modifica le proprietà organolettiche dell'alimento contenuto) e hanno un importante valore nutritivo, in quanto apportano minerali, vitamine e alti livelli di fibre. (Herrera, 2021).

I bio-imballaggi, essendo costituiti da materiali organici, presentano caratteristiche interessanti che conferiscono un valore aggiunto rispetto agli imballaggi tradizionali costruiti con materiali inerti. Ad esempio, sono stati messi a punto alcuni materiali per l'imballaggio degli alimenti dotati di caratteristiche funzionali che vanno oltre le normali proprietà ottiche, meccaniche e di barriera dei materiali di imballaggio convenzionali. Le potenzialità per questi materiali spaziano dalla progettazione di prodotti che possono inibire la crescita microbica, ritardare reazioni chimiche indesiderate o controllare l'attività enzimatica, prolungando così la durata di conservazione degli alimenti. Tipicamente, ciò si ottiene incorporando agenti antimicrobici e/o antiossidanti nei materiali di imballaggio, con particolare enfasi sull'utilizzo di ingredienti funzionali naturali di derivazione botanica. Uno dei potenziali vantaggi dei materiali di imballaggio attivi è che gli antiossidanti e gli antimicrobici si trovano all'interno della pellicola, piuttosto che all'interno del cibo, il che può ridurre la quantità di questi additivi necessaria per proteggere il cibo durante la conservazione, oltre a ridurre la quantità ingerita. Gli additivi incorporati nei materiali di imballaggio attivi possono aumentare la durata di conservazione degli alimenti confezionati attraverso una serie di meccanismi diversi a seconda delle loro caratteristiche. Alcuni degli additivi più comuni che presentano proprietà antimicrobiche o antiossidanti utilizzati a questo scopo includono macronutrienti (come proteine specifiche o carboidrati), nanoparticelle inorganiche (come Ag, TiO₂, ZnO e argilla), nanoparticelle organiche (a base di lipidi, proteine o carboidrati), oli essenziali o altri estratti di piante (come olio di timo o estratto di tè) e sostanze fitochimiche (come curcumina,

quercetina o antociani). L'incorporazione di questi composti nei materiali di imballaggio può anche migliorare le loro proprietà fisico-chimiche e meccaniche.

Ricerca e innovazione hanno consentito di mettere a punto dei materiali di imballaggio intelligenti progettati per rispondere in modo particolare quando si verifica qualche cambiamento nel sistema (come un cambiamento nella qualità). Questi materiali di imballaggio possono svolgere un ruolo importante nel migliorare la qualità e la gestione della sicurezza alimentare. Esistono diversi pigmenti naturali che hanno la caratteristica di cambiare colore quando si verifica un'alterazione significativa del pH di un alimento confezionato. Questi cambiamenti di pH possono essere causati da attività enzimatica, reazioni chimiche o crescita microbica negli alimenti; quindi, i sensori di pH possono fornire un'indicazione di alterazioni nella qualità o sicurezza degli alimenti. Gli indicatori colorimetrici possono anche dare un cambiamento di colore in risposta alla presenza di specifici composti volatili, che possono fornire anche un'indicazione di alterazioni della qualità degli alimenti. Sono stati sviluppati indicatori sensibili al pH utilizzando antociani derivati da varie fonti botaniche, tra cui petalo di zafferano, mais viola, cipolla viola, cavolo rosso, nonché da carotenoidi e clorofilla.

Fare acquisti intelligenti, oggi, può apparire una sfida. Sono tantissimi gli elementi che dobbiamo considerare se vogliamo che le nostre scelte d'acquisto siano il più possibile sane e sostenibili. Bisogna tenere conto della stagionalità degli alimenti, della loro provenienza e di quanti km hanno fatto per raggiungere le nostre tavole, l'impatto ambientale e poi ancora gli ingredienti e l'imballaggio. Purtroppo, spesso non si presta attenzione a quest'ultimo aspetto, che invece è altrettanto importante se vogliamo danneggiare il meno possibile l'ambiente. Il problema del packaging inizia infatti già a monte, ossia nella creazione stessa dell'imballo che produce gas, metalli pesanti e particolati che incidono sull'effetto serra, nonché acque reflue o fanghi con contaminanti tossici. Confezioni usa e getta, voluminose e non ottimizzate per il riciclo, prodotti avvolti in una quantità esagerata di materiale plastico, la maggior parte dei quali finiscono in mare: questi sono i grandi problemi del settore degli imballaggi per alimenti. Le Nazioni Unite hanno dichiarato l'inquinamento da plastica degli oceani "una crisi planetaria". La Us Environmental protection agency (Epa) ha evidenziato come i materiali di imballaggio del settore del cibo costituiscono quasi la metà di tutti i rifiuti solidi urbani.

Il problema dell'inquinamento ambientale del packaging, soprattutto plastico, e del suo smaltimento, fortunatamente è sempre più discusso. I consumatori, grazie a una sensibilità maggiore alla sostenibilità ambientale, stanno portando il settore a trasformarsi, cambiando il modo in cui i prodotti alimentari vengono impacchettati.

Il “packaging bio”, con cui si intendono gli imballaggi completamente biodegradabili ed eco-friendly, potrebbe quindi essere il futuro del pack. Lidl Svizzera sta conducendo un esperimento per testare l’utilizzo di una pellicola compostabile e commestibile che può essere spruzzata sugli alimenti per preservarli più a lungo e proteggerli. Ma non è il solo esperimento che si sta portando avanti. Ci sono numerosi esperimenti per testare l’efficacia delle alghe, considerate una vera e propria risorsa per gli scienziati in quanto hanno un utilizzo interessante legato alla produzione di pellicola edibile e idrorepellente a temperatura ambiente, perfetta per avvolgere diverse tipologie di prodotto. (Rossi, 2022).

Dall’esigenza di trovare soluzioni alternative all’utilizzo di imballaggi con materiali sintetici per prodotti alimentari, è stato ideato il progetto RICREA, finanziato dalla Misura 16.1 del PSR della Regione Marche e seguito dal Dipartimento di Scienze agrarie, Alimentari ed Ambientale dell’Università Politecnica delle Marche. L’obiettivo del progetto è la produzione di un prototipo di imballaggio secondario per bottiglie di vino o di olio, innovativo perché completamente di origine biologica. I materiali utilizzati per la costruzione dell’imballaggio saranno paglia non lavorata pressata e rivestita da bioplastica; la forma sarà su misura in base al prodotto confezionato. Il partner del progetto è l’azienda vitivinicola Umani-Ronchi che al fine di aumentare la circolarità dei prodotti aziendali ha investito nella ricerca per la creazione di un packaging realizzato su misura che possa dare un valore aggiunto in termini di sostenibilità e promozione dei loro prodotti.

La tesi si inserisce nel progetto RICREA perché ha condotto uno studio su campioni di imballaggi forniti dalla azienda “molini e pastifici 1875” (capofila di progetto) a seguito della precedente valutazione, di un prototipo di packaging fornito inizialmente, effettuata da Fratoni Tommaso applicando i parametri della normativa europea che regola i requisiti per gli imballaggi. La tesi ha in oggetto la sperimentazione delle caratteristiche fisiche, meccaniche e termiche dei modelli di imballaggi prodotti. A seguito delle prove condotte verrà fatta una valutazione critica dei dati ottenuti tenendo conto anche dell’aspetto estetico. In seguito ai dati ottenuti da tali prove, sarà possibile apportare eventuali modifiche in modo tale da ottenere un prodotto finale innovativo, completamente biodegradabile, e a minor impatto ambientale e con costi di produzione competitivi.

Capitolo 1

ASPETTI NORMATIVI

Prima di sottoporre i nuovi prototipi di packaging a test di sollecitazione per valutarne le caratteristiche fisiche e meccaniche è necessario prendere atto della normativa che regola il settore degli imballaggi.

Il mondo del packaging è infatti regolato da disposizioni internazionali, europee e nazionali che definiscono i requisiti essenziali che ogni imballaggio immesso nel mercato deve obbligatoriamente rispettare. Tali normative regolamentano aspetti dell'imballaggio legati alla struttura fisica interna ed esterna, alla recuperabilità e al suo impatto ambientale. La legislazione europea sui requisiti essenziali per gli imballaggi fa capo alla Direttiva 94/62/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 20 dicembre 1994. La normativa attualmente in vigore è la Direttiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018.

La prima parte del lavoro svolto riguarda la valutazione della conformità del packaging alla normativa. Per poter fornire una valutazione è necessario approfondire quali sono i criteri che la normativa prende in considerazione e quali sono gli standard indicati.

1.1 Norma tecnica UNI EN 13428:2005

Durante la fase di realizzazione dei prototipi, la normativa più importante da seguire è la UNI EN 13428 – “Imballaggi - Requisiti specifici per la fabbricazione e la composizione - Prevenzione per riduzione alla fonte”.

Il primo dei tre punti trattati in questa norma è appunto la prevenzione per riduzione alla fonte.

Ridurre alla fonte

“Significa considerare l'insieme degli interventi che le catene di produzione e utilizzo di una determinata soluzione di imballaggio possono mettere in pratica per minimizzare il peso e il volume della soluzione stessa in relazione alla o alle funzioni che deve svolgere”.

Poiché le tecnologie di produzione e utilizzo dell'imballaggio sono in continua evoluzione, anche la riduzione alla fonte è un processo continuativo.

La sostituzione di un materiale di imballaggio con un altro non costituisce la base per una riduzione alla fonte.

La riduzione alla fonte deve essere fatta fino a raggiungere l'area critica, ovvero i valori minimi di peso e volume al di sotto dei quali non è possibile scendere altrimenti verrebbero compromesse le caratteristiche funzionali dell'imballaggio.

La prima caratteristica sottoposta a questo tipo di analisi è il volume, per cercare di ottimizzare la gestione degli spazi e massimizzare la quantità di prodotto contenuto in un determinato volume.

In seguito, l'analisi viene fatta sulla gestione del peso, partendo dagli elementi che compongono l'imballaggio.

In base a queste analisi, per verificare l'idoneità dell'imballaggio, è necessario compilare una lista di controllo che permette di determinare l'area critica che stabilisce il limite per la riduzione alla fonte.

La lista di controllo è composta da dieci punti:

- La protezione del prodotto;
- Il processo di fabbricazione degli imballaggi;
- Il processo di confezionamento/riempimento;
- La logistica (inclusi trasporto, immagazzinamento e movimentazione);
- La presentazione del prodotto e commercializzazione;
- L'accettazione da parte dell'utilizzatore/consumatore;
- Le informazioni;
- La sicurezza;
- La legislazione;
- Altri temi.

Il secondo dei tre punti trattati dalla normativa riguarda il limite massimo di presenza dei metalli pesanti.

In particolare, definisce

“l'insieme degli interventi che le catene di produzione e utilizzo di una determinata soluzione di imballaggio possono mettere in pratica per verificare che i metalli pesanti eventualmente presenti nell'imballaggio immesso in commercio non superino i 100 ppm; i

metalli considerati sono il piombo (Pb), il cadmio (Cd), il cromo esavalente (Cr VI) e il mercurio (Hg)”.

La determinazione delle quantità di questi metalli pesanti viene analizzata in tre fasi distinte:

- campionamento
- preparazione del campione da analizzare
- analisi vera e propria del campione in oggetto.

Il terzo punto regola la presenza massima di sostanze o di preparati pericolosi, ovvero quelli classificati con il simbolo “N” nelle direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE.

“Sono sostanze o preparazioni che possono provocare un danno all’ambiente passando nel terreno, nell’acqua o nell’aria nel momento in cui l’imballaggio che la contiene venga riciclato, incenerito con recupero energetico, compostato, incenerito senza recupero di energia o riposto in discarica”.

Per effettuare questo tipo di controllo è necessario prima di tutto verificare se queste sostanze e/o questi preparati siano stati utilizzati nella produzione, successivamente bisogna verificare se possano essere presenti nell’imballaggio immesso sul mercato e infine se possano essere rilasciate nell’ambiente dai rifiuti di imballaggio; in quel caso è necessario minimizzare la quantità.

Una volta analizzati i prototipi forniti abbiamo analizzato la normativa di riferimento per impostare un programma di prove il più consono possibile, tenendo conto delle attrezzature presenti in laboratorio, per testare i vari esemplari. La norma di riferimento è la UNI EN ISO 4180 che indica quali sono i programmi di prove di prestazione da utilizzare per i test di imballaggi di trasporto completi e pieni.

1.2 Norma UNI EN ISO 4180

In particolare,

«La norma stabilisce le regole generali da utilizzare per la stesura di programmi di prova di prestazione di imballaggi di trasporto completi e pieni, destinati all’utilizzo in qualsiasi sistema di distribuzione ad eccezione degli imballaggi utilizzati per merci pericolose.»

In questa norma vengono definite una serie di prove di resistenza meccanica da svolgere in laboratorio, aventi lo scopo di simulare le condizioni logistiche a cui è sottoposto un imballaggio completo e pieno, verificandone le prestazioni.

Vengono definiti due programmi di prova, in base al sistema di distribuzione:

«Caso 1: sistema di distribuzione ben definito e intensità dei pericoli determinata.

In questo caso, il programma di prova di prestazione deve essere scritto utilizzando i dati di prova sperimentali acquisiti in conformità alla ISO 4178. Le prove applicabili devono essere scelte a seconda del sistema di distribuzione. Devono essere scelte una sequenza di prova e un'intensità della prova appropriate.

Le fasi della procedura sono le seguenti:

- Identificare i singoli elementi del sistema di distribuzione;
- Decidere quali pericoli questi elementi coinvolgono;
- Decidere le prove necessarie per rappresentare o simulare tali pericoli (compresa, per esempio, le decisioni sul condizionamento appropriato, sulla condizione dell'imballaggio, sui pericoli introdotti, sulla durata della vibrazione e sul numero di urti);
- Decidere la sequenza di prova;
- Decidere l'intensità della prova associata alla particolare combinazione di imballaggio e sistema di distribuzione.

Caso 2: sistema di distribuzione non definito e intensità dei pericoli non conosciuta.

Molto spesso, il fabbricante dell'imballaggio non ha una chiara conoscenza del sistema di distribuzione e le intensità dei pericoli non sono conosciute.

In questo caso, la presente norma internazionale fornisce i programmi di prova di prestazione consigliati.

I criteri di scelta sono la massa e la destinazione dell'imballaggio.»

Il campione testato nel nostro caso di studio rientra in un sistema logistico ben definito e con intensità dei pericoli determinata quindi, in base a quanto riportato nella normativa, dobbiamo fare riferimento al “Caso 1”.

La sequenza di prove scelte, specificamente per questo caso di studio, comprende:

- Deformazione;
- Resistenza all'accelerazione centrifuga;
- Urti;
- Condizionamento termico;

Ogni prova specifica ha una normativa dedicata che indica i procedimenti da seguire e le attrezzature idonee da utilizzare.

1.3 Prova di resistenza all'accelerazione centrifuga

La prova di vibrazione casuale verticale viene regolamentata dalla normativa (ISO 13355), questa si articola in più punti che definiscono le apparecchiature utilizzabili e il procedimento da seguire.

In particolare:

“La normativa ISO 13355 specifica un metodo per eseguire una prova di vibrazione casuale verticale su un(gli) imballaggio(i) per il trasporto completo(i) e pieno(i) e unità di carico utilizzando un'eccitazione casuale.

Tale documento fornisce anche i metodi per valutare la prestazione di un imballaggio in termini di sua resistenza o di protezione che esso offre al suo contenuto quando è sottoposto a vibrazioni verticali.

La prova trattata nel presente documento può essere eseguita come una prova singola, per studiare gli effetti delle vibrazioni verticali, oppure può far parte di una sequenza di prove destinate a misurare la capacità di un provino di resistere ad un sistema di distribuzione che comprende un rischio di vibrazione”.

Il punto 4 di questa normativa stabilisce l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test.

1.3.1 Apparecchiatura: tavola vibrante

Una tavola di dimensioni e prestazioni sufficienti (in termini di potenza, spostamento, intervallo di frequenze) in grado di essere rigida (la sua frequenza di risonanza inferiore deve essere maggiore della frequenza di prova superiore) e di rimanere orizzontale durante la prova.

L'intervallo di frequenze deve essere compreso tra 2 Hz e 200 Hz, con una risoluzione di almeno 1 Hz. Considerando la frequenza di risonanza della base sismica dell'apparecchiatura di prova, l'intervallo di frequenze all'estremità inferiore può essere modificato in base a un accordo tra le parti interessate o alle istruzioni tecniche dell'apparecchiatura di prova.

La tavola può essere equipaggiata con i seguenti componenti:

- Barriere basse che limitano i movimenti laterali e longitudinali durante le prove;

- Barriere alte o altri mezzi per mantenere un carico sovrapposto in posizione sul provino durante la prova.

1.3.2 *Sistema di misurazione delle vibrazioni, di memorizzazione dei dati e di controllo*

Un sistema che comprende accelerometri, condizionatori di segnale e un computer, in grado di:

- Generare vibrazioni con la densità spettrale di potenza richiesta;
- Controllare il movimento della tavola vibrante rinviando il segnale proveniente dall'accelerometro di controllo che monitora l'accelerazione della tavola;
- Effettuare l'analisi con almeno 120 gradi statistici di libertà;
- Disporre di canali di acquisizione dei dati e canali di controllo con una risposta precisa al 5% su tutta la gamma di frequenze specificata per la prova.»

Il punto x.3.3 di tale normativa indica il procedimento da seguire:

1.3.3 *Procedimento*

Effettuare la prova nelle stesse condizioni atmosferiche utilizzate per il condizionamento (il condizionamento del provino deve essere effettuato in conformità alla ISO 2233), se esse hanno un'influenza sulle prestazioni del provino.

In altre circostanze, la prova deve essere effettuata in condizioni atmosferiche il più possibile simili a quelle utilizzate per il condizionamento.

Collocare il provino nell'assetto prestabilito sulla tavola vibrante, con il baricentro posto il più vicino possibile al centro della tavola; se il provino non è fissato alla tavola, può essere confinato. Se è richiesto un carico sovrapposto, il procedimento di carico deve essere conforme alla ISO 2234.

Misurare l'accelerazione imposta alla tavola vibrante il più vicino possibile al provino.

Assicurarsi che i componenti orizzontali dell'accelerazione non siano maggiori del 20% del valore del componente verticale.

Iniziare la prova a 6 dB al di sotto del livello di prova per permettere al sistema di equalizzare il profilo di densità spettrale di potenza, poi regolare attentamente il livello per raggiungere il livello di prova completo e continuare la prova per la durata prestabilita.

In assenza di dati sperimentali relativi agli effetti del trasporto da riprodurre la durata della prova e la densità spettrale di potenza della tavola vibrante dovrebbero essere scelte come indicato nell'appendice A della norma.

Quando il sistema di distribuzione e l'intensità dell'accelerazione delle vibrazioni sono parzialmente noti, la durata della prova e la densità spettrale di potenza della tavola vibrante possono essere scelte come indicato nelle specifiche sezioni di norma.

Il programma di prova può essere modificato secondo quanto concordato dalle parti interessate coinvolte. In questo caso, la modifica e il motivo dovrebbero essere aggiunti al rapporto di prova.

La tolleranza sull'accelerazione quadratica media non deve essere maggiore del 15%; la densità spettrale di potenza di accelerazione ottenuta dal segnale di controllo di prova non deve avere uno scostamento maggiore di ± 3 dB sull'intero intervallo di frequenze di prova.

Le prove possono essere interrotte in qualsiasi momento per permettere l'esame visivo del provino o per qualsiasi altro scopo.»

L'appendice A fornisce dei valori di densità spettrale di potenza che possono essere utilizzati per simulare un trasporto generico:

Appendice A – Densità spettrale di potenza nel trasporto generico

La tabella e la figura forniscono i livelli di densità spettrale di potenza che possono essere utilizzati per simulare il trasporto generico (principalmente su strada) quando non sono disponibili registrazioni sperimentali.

Tabella 1-1: Densità spettrale

Frequenza, f (Hz)	Livello (m/s²)² / Hz	Livello g²/Hz	Pendenza dB/ott
f=2	0,048	0,0005	-
2<f<4	-	-	+13,75
4≤f≤18	1,154	0,012	-
18<f<40	-	-	-9,34
f=40	0,096	0,001	-
40<f<200	-	-	-1,29
f=200	0,048	0,0005	-

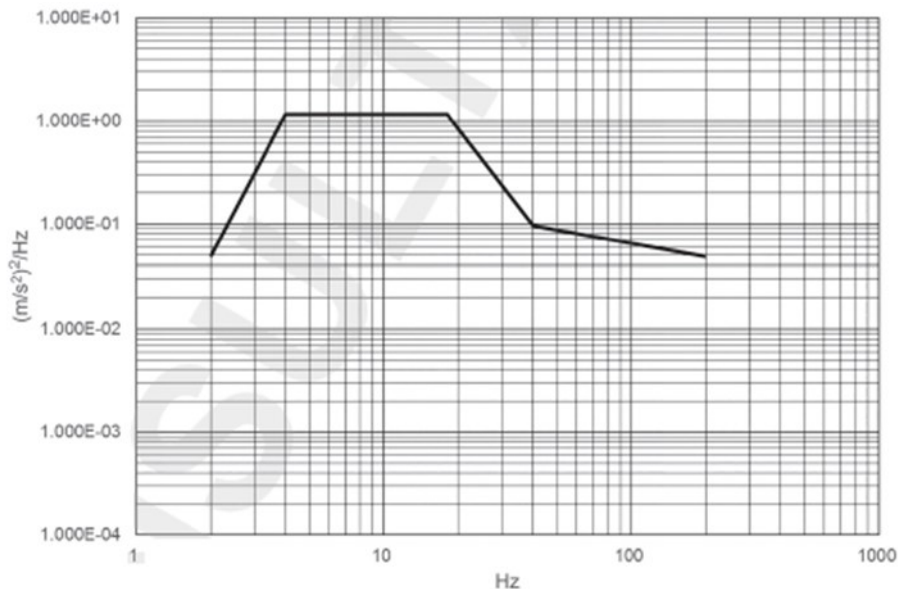


Figura 1-1: Profilo di densità spettrale di potenza

Il valore totale dell'accelerazione quadratica media della gamma di frequenze è di 5,926 m/s² (0,604 g).

La durata minima di prova raccomandata è di 30 min per ogni assetto del provino da sottoporre a prova.

La correlazione tra la distanza di trasporto e la durata della prova non è trattata nella presente norma internazionale.

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel primo caso applicativo, vengono stabiliti dei parametri di prova preferiti quando si esegue la prova di vibrazione casuale verticale.

In particolare:

1.3.4 Densità spettrali di potenza di prova (PSD)

Quando si esegue la prova di vibrazione casuale, utilizzare lo spettro indicato nella ISO 13355:2001, appendice A. Se si desidera utilizzare un altro spettro, i criteri per determinare le densità spettrali di potenza di prova (PSD) devono essere i seguenti.

Quando sono disponibili registrazioni relative al sistema di distribuzione, lo spettro di prova ricavato dalle registrazioni non deve essere definito da un numero di punti di rottura maggiore di 15.

I parametri di prova preferiti sono indicati nelle tabelle di seguito riportate.

Tabella 1-2: Parametri di prova casuali preferiti: intervalli di frequenza di prova

Intervalli di frequenza di prova preferiti Hz
da 3 a 200
da 5 a 300
da 5 a 500

Tabella 1-3: Parametri di prova casuali preferiti: accelerazioni quadratiche medie

Accelerazioni quadratiche medie preferite m/s²
3
5
7,5
10
12,5
15

Tabella 1-4: Parametri di prova casuali preferiti: durate di prova

Durate di prova preferite min
10
20
30
40
60
90
120

Malgrado le diffuse indicazioni fornite dalle norme fin qui elencate le prove di vibrazioni previste nel lavoro di sperimentazione hanno uno scopo accessorio che è quello di verificare

la capacità dei singoli elementi complementari del packaging di rimanere in assetto senza vincoli (eccezion fatta per un peso superiore) quando sottoposti ad accelerazione laterale. Tale prova simula l'eventuale accelerazione imposta da curve e svolte nel trasporto che potrebbero avere ripercussioni negative sull'integrità del packaging se non viene previsto un involucro terziario.

1.4 Identificazione delle facce

L'identificazione delle facce è codificata dalla normativa 22206, al fine di standardizzarne la numerazione.

UNI EN ISO 22206:

«La normativa stabilisce un metodo per l'identificazione delle varie parti di imballaggi completi e pieni per le prove.»

Tale normativa definisce quattro forme diverse di imballaggio: imballaggi a forma parallelepipedica, imballaggi a forma cilindrica, sacchi e imballaggi diversi.

Il nostro caso di studio prende in considerazione un tipo di imballaggio a forma di parallelepipedo presentato in un punto dedicato nella norma:

1.4.1 *Imballaggi a forma parallelepipedica*

L'imballaggio deve essere disposto nella posizione prevista durante il trasporto. Se la posizione di trasporto non è nota, il giunto di fabbricazione, quando esista, deve essere posizionato verticalmente alla destra dell'osservatore.

Quando l'imballaggio è disposto in tal modo con un lato rivolto verso l'osservatore, la sua faccia superiore deve essere identificata col numero 1, la faccia posta a destra dell'osservatore col numero 2, il fondo col numero 3, la faccia laterale posta alla sinistra dell'osservatore col numero 4, la faccia di fronte all'osservatore col numero 5 e quella opposta a quest'ultima col numero 6 (vedere Figura 1-2). Nel caso che l'imballaggio presenti più giunti di fabbricazione, il principio precedentemente descritto dovrebbe essere applicato disegnando arbitrariamente col numero 5 una delle facce.

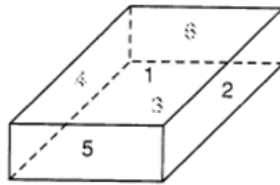


Figura 1-2: Numerazione facce di un parallelepipedo

Ogni spigolo determinato dalla intersezione di due facce deve essere identificato con le cifre indicanti le due facce stesse (per esempio: 1-2 indica lo spigolo formato dall'intersezione della faccia superiore 1 con quella a destra dell'osservatore 2).

Ogni vertice determinato dall'incontro di tre facce deve essere identificato con le cifre indicanti le tre facce stesse (per esempio: 1-2-5 indica il vertice formato dalla faccia superiore, dalla faccia a destra dell'osservatore e da quella più vicina all'osservatore).»

1.5 Prove d'urto verticale

La normativa che regola questo tipo di prova (ISO 2248).

In particolare:

“La normativa ISO 2248 stabilisce un metodo per eseguire una prova di caduta su un imballaggio di trasporto completo e pieno.

Questo metodo può essere utilizzato per una prova singola avente lo scopo di determinare gli effetti dell'impatto verticale o come parte di una sequenza di prove studiata per valutare l'idoneità di un imballaggio e superare le varie fasi di un tipo di distribuzione in cui l'imballaggio sia esposto al rischio di cadute”.

La normativa stabilisce l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test:

1.5.1 Apparecchiatura

1. **Sistema di sollevamento** tale da non causare danni all'imballaggio in prova sia durante il sollevamento sia durante lo sgancio.
2. **Sistema di ritenzione** per trattenere l'imballaggio in prova con le modalità previste fino al momento del rilascio.
3. **Meccanismo di rilascio** tale da non ostruire in alcun modo la caduta libera dell'imballaggio in prova, fino al momento dell'impatto.

4. **Superficie di impatto** orizzontale e piana avente una massa tale da non subire alcun spostamento ed essere sufficientemente rigida in modo da non subire deformazioni nelle condizioni di prova.

Normalmente, la superficie di impatto deve rispondere ai seguenti requisiti:

- Essere parte integrante di una massa almeno 50 volte maggiore di quella del più pesante tra gli imballaggi da sottoporre alla prova;
- Avere una planarità tale che in due punti qualsiasi della superficie la differenza di livello non sia maggiore di 2 mm;
- Presentare una rigidità tale che la sua deformazione non superi 0,1 mm quando un'area di 100 mm² sia sottoposta ad un carico statico avente massa di 10 kg posto in un punto qualsiasi della superficie;
- Avere dimensioni sufficienti per garantire che l'imballaggio sottoposto alla prova cada interamente entro i limiti dimensionali della superficie d'impatto.»

La norma indica il procedimento da seguire:

1.5.2 Procedimento

Quando è possibile, la prova deve essere eseguita nelle stesse condizioni atmosferiche usate per il condizionamento, qualora queste siano critiche per l'imballaggio e/o per i materiali che lo costituiscono. In altri casi le condizioni atmosferiche devono comunque essere le più possibili vicine a quelle del condizionamento.

1. Sollevare l'imballaggio in prova e mantenerlo in posizione ad una altezza predeterminata; tale altezza è definita come la distanza tra il punto più basso dell'imballaggio al momento del rilascio e la superficie di impatto. La tolleranza su tale altezza è di $\pm 2\%$.
2. Lasciare cadere l'imballaggio dalla sua posizione predeterminata, con le seguenti tolleranze:
 - caduta su una faccia o su uno spigolo: l'angolo formato dalla faccia o dallo spigolo al momento dell'impatto con la superficie orizzontale non deve essere maggiore di 2° ;
 - Caduta su uno spigolo o su un vertice: l'angolo tra una superficie predeterminata dell'imballaggio in prova e la superficie di impatto deve essere pari all'angolo previsto con tolleranza $\pm 5^\circ$ o $\pm 10\%$: Tra le due possibilità deve essere scelta quella con tolleranza maggiore.

La velocità di impatto deve essere contenuta entro $\pm 1\%$ di quella raggiungibile in caduta libera.

Questa norma presenta un'appendice che stabilisce le condizioni predeterminate dell'imballaggio, in base alla sua forma.

Il nostro interesse si concentra sugli imballaggi a parallelepipedo e l'impatto viene testato sulle facce.

1.6 Prove d'urto orizzontale

La normativa che regola questo tipo di prova (ISO 2244) stabilisce che gli urti orizzontali devono essere effettuati utilizzando o un piano inclinato o un pendolo.

«La norma internazionale ISO 2244 specifica i metodi di prova d'urto orizzontale (prova sul piano orizzontale o inclinato e prova sul pendolo) su un imballaggio di trasporto completo e pieno o su un'unità di carico. La prova può essere eseguita come un'unica prova per studiare l'effetto dell'urto orizzontale o come parte della sequenza di prove progettate per misurare la capacità di un imballaggio o di un carico unitario di sopportare un sistema di distribuzione che includa un pericolo di impatto orizzontale»

La norma indica l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test:

1.6.1 Apparecchiatura

1. Superficie d'urto che deve essere:

- O un piano inclinato rispetto la verticale a $10^\circ \pm 1^\circ$ (per la prova sul piano inclinato),
- O un piano verticale entro 1° (per la prova orizzontale o la prova del pendolo).

Le dimensioni della superficie d'urto devono essere superiori a quelle della superficie d'urto o della parte selezionata dell'imballaggio. La superficie deve essere sufficientemente rigida da non deviare più di 0,25 mm quando un carico di 160 kg/cm² è applicato in qualsiasi punto della superficie.

- #### 2. Pericoli interposti facoltativi che devono essere utilizzati quando è necessario concentrare l'impatto in una particolare area dell'imballaggio. Le dimensioni, il materiale e la posizione del pericolo interposto devono essere accuratamente specificati.

Nello specifico caso operativo si è scelto, in base alle attrezzature presenti in officina, di svolgere la prova mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura a pendolo appositamente fabbricata.

1.6.2 *Apparecchiatura del pendolo*

La normativa stabilisce le caratteristiche di cui il sistema utilizzato per la prova deve essere dotato. Il pendolo è costituito da una piattaforma rettangolare sospesa ad ogni angolo da barre o funi di acciaio in modo che nella sua posizione di riposo il bordo anteriore tocchi solo la superficie d'urto. Il sistema di sospensione deve poter muoversi liberamente e il suo percorso non deve essere ostruito quando l'imballaggio è montato sulla piattaforma.

1.6.3 *Procedimento*

Il punto 7 della normativa ISO 2244 detta le modalità operative per ogni variante della prova presa in considerazione. In particolare:

1. Per quanto possibile, la prova deve essere effettuata in condizioni atmosferiche identiche a quelle utilizzate per il condizionamento, in particolare quando ciò è critico per i materiali o per l'applicazione dell'imballaggio. In altri casi, la prova deve essere effettuata in condizioni atmosferiche che si avvicinino il più possibile a quelle utilizzate per il condizionamento.
2. La velocità dell'impatto deve essere compresa entro $\pm 5\%$ della velocità di impatto predeterminata.
3. Quando l'impatto è su una faccia, l'imballaggio deve colpire la superficie d'urto in modo che l'angolo tra la faccia e il piano della superficie d'urto sia inferiore a 2° .
4. Quando l'impatto è su un bordo, l'assetto dell'imballaggio all'urto deve essere tale che l'angolo α tra il bordo e il piano della superficie d'urto sia inferiore a 2° e tale che l'angolo β tra una faccia adiacente e la superficie d'urto si trova all'interno di $\pm 5^\circ$ o il 10% dell'angolo predeterminato, qualunque sia il maggiore.
5. Quando l'impatto è su un angolo, l'imballaggio deve colpire la superficie d'urto in modo che l'angolo β tra una faccia contigua all'angolo di prova e la superficie d'urto si trovi all'interno di $\pm 5^\circ$ o il 10% dell'angolo predeterminato, qualunque sia il maggiore.

1.6.4 *Prova del pendolo*

La prova del pendolo deve essere eseguita secondo le seguenti modalità operative:

1. Collocare l'imballaggio sulla piattaforma rettangolare in modo che la faccia o il bordo che colpisce tocchi solo la superficie d'impatto.
2. Sollevare il pendolo tirando fuori la piattaforma alla distanza dalla superficie d'impatto adeguata alla velocità richiesta, quindi rilasciarla.

1.7 Condizionamento termico

La prova del condizionamento termico è stata effettuata per monitorare l'inerzia termica del sistema comprendente gli imballaggi (cartone esterno e prototipo da valutare) e la bottiglia in vetro riempita con liquido, seguendo la normativa di riferimento ISO 2233. La normativa stabilisce che "il campione sia esposto a condizioni atmosferiche predeterminate per un periodo di tempo predeterminato". La norma si articola in più punti:

- Il punto 4 stabilisce le condizioni atmosferiche da considerare
- Il punto 5 puntualizza le tolleranze nelle varie condizioni
- Il punto 6 indica le apparecchiature da utilizzare
- Il punto 7 stabilisce il procedimento

1.7.1 Condizioni atmosferiche

Una o più condizioni date dalla Tabella 1-5 devono essere selezionate.

Tabella 1-5: Condizioni atmosferiche

Condizione	Temperatura		Umidità relativa (RH) %
	°C	K	

1	- 55	218	Non specificato
2	- 35	238	Non specificato
3	- 18	255	Non specificato
4	+ 5	278	85
5	+ 20	293	65
6	+ 20	293	90
7	+ 23	296	50
8	+ 30	303	85
9	+ 30	303	90
10	+ 40	313	Incontrollato
11	+ 40	313	90
12	+ 55	328	30

1.7.2 Tolleranza

Per le condizioni 1,2,3 e 10 della tabella x.5, la differenza massima ammissibile di temperatura di dieci misurazioni distribuite intorno al valore nominale su almeno 1 h è di ± 3 °C. Per tutte le altre condizioni la differenza massima ammissibile è di ± 2 °C. Per tutte le condizioni, la tolleranza sulla media rispetto al valore nominale è di ± 2 °C.

Quando si usa la condizione 4, si deve fare attenzione a non raggiungere il punto di rugiada.

Le tolleranze di temperatura citate non sono necessariamente quelle necessarie per mantenere le tolleranze richieste sull'umidità relativa: possono quindi essere necessarie tolleranze di temperatura più elevate per rispettare le tolleranze richieste per l'umidità relativa.

Per tutte le condizioni, la tolleranza sulla media dell'umidità relativa rispetto al valore nominale è $\pm 2\%$ RH.

Il valore medio dell'umidità relativa può essere ottenuto calcolando la media di un minimo di dieci misurazioni su un periodo di 1 h, o può essere ricavato da una traccia strumentale continua.

La tolleranza del $\pm 5\%$ RH è indicata in quanto rappresenta la variazione massima prevista nelle camere di condizionamento. Camere di condizionamento moderne e ben progettate sono in grado di mantenere il $\pm 2\%$ di RH. La risposta della maggior parte delle provette alle variazioni dell'umidità atmosferica è relativamente lenta rispetto alle fluttuazioni dell'umidità relativa all'interno della camera e, a condizione che l'umidità relativa all'interno dello spazio

di lavoro, assunto su un periodo di 1 h durante la durata della prova, si situa entro il $\pm 5\%$ dell'umidità relativa specificata, si può presumere che le fluttuazioni più ampie, come possono verificarsi all'apertura della porta, abbiano avuto un effetto limitato sul contenuto di umidità dell'imballaggio.

1.7.3 *Apparecchiatura*

La camera di condizionamento deve essere costituita da un locale di lavoro la cui temperatura e umidità sono registrate in continuo e che possono essere mantenute alle condizioni specificate entro le tolleranze di controllo predefinite. Il locale di lavoro è la parte di una camera di condizionamento all'interno della quale sono mantenute le condizioni controllate specificate. I confini di questo spazio devono essere specificati per ciascuna camera.

Le apparecchiature di misurazione e registrazione devono essere sufficientemente sensibili e stabili da consentire la misurazione della temperatura con un'accuratezza di $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e dell'umidità relativa all'1%.

Ai fini della presente norma internazionale, la registrazione è considerata continua se il periodo tra le singole letture non supera i 5 minuti.

L'apparecchio di controllo deve avere una velocità di risposta sufficiente per registrare con accuratezza, con la precisione sopraindicata, le variazioni di temperatura di $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ al minuto e le variazioni di umidità relativa di 5% al minuto.

1.7.4 *Procedimento*

Il primo step consiste nel selezionare le condizioni di temperatura e umidità relativa più appropriate per il trasporto e la conservazione del provino da sottoporre a test. Collocare il provino nello spazio di lavoro della camera di condizionamento ed esporlo alle condizioni prescritte per un periodo minimo di 4 h, 8 h, 16 h, 24 h, 48 h o 72 h o di 1 settimana, 2 settimane, 3 settimane o 4 settimane.

Il campione deve essere sostenuto in modo che l'atmosfera di condizionamento abbia libero accesso alla parte superiore, ai lati e ad almeno il 75% della base. L'inizio del periodo di condizionamento è considerato 1 h dopo che le condizioni specificate sono state ripristinate.

Quando il provino è costruito con materiali, come pannelli di fibre, che sono noti per mostrare un effetto di isteresi nelle loro caratteristiche, può essere necessario pre-asciugare prima del condizionamento. Questo deve essere fatto ponendo le condizioni di prova, si

avvicinerà all'equilibrio assorbendo umidità. Ciò non è necessario quando l'umidità relativa specificata è pari o inferiore al 40%.

Capitolo 2

MATERIALI E METODI

Lo studio tecnico dei manufatti è complesso e si fonda su più metodi, mutuati, in gran parte, dalla normativa già illustrata nel capitolo 1. In particolare, sono state messe a punto differenti metodologie, di seguito elencate: valutazioni visive relative alle caratteristiche generali dei manufatti; definizione delle caratteristiche geometriche (L, l, h); resistenza meccanica agli impatti verticali e orizzontali; resistenza alle sollecitazioni tangenziali; inerzia termica.

2.1 Materiali

Lo studio si è sviluppato su 16 esemplari (calotte), manufatti realizzati da terzi e costituiti da un involucro di plastica contenente paglia, modellato, pressato e scaldato in un calco di materiale plastico. Il riempimento dell'involucro è manuale e, inevitabilmente, difficilmente standardizzabile. Il calco, differente se la calotta è destinata a realizzare un involucro per olio o per vino, è stata realizzata in materiale plastico ad elevata resistenza al calore e alla pressione. La bioplastica utilizzata è PLA e la sua funzione è contenere la paglia, inserita, in questa serie di calotte, senza un preciso ordine. La paglia è stata preventivamente valutata in termini di umidità e utilizzata tal quale.

I 16 manufatti sono stati acquisiti già classificati. In laboratorio, al fine di organizzare la valutazione delle resistenze degli involucri, sono stati ricodificati singolarmente come calotta e, una volta assemblati, come involucro (tabella 2-1).

Tabella 2-1: Codifica delle calotte e dei campioni di involucro assemblati

Codice del produttore	Codice del laboratorio	Campione	Prodotto associato
B6CHON2	E1a	C1 (E1a+E1b)	Bottiglia da olio
B6CHON3	E1b		
B6CHON9	E2a	C2 (E2a+E2b)	Bottiglia da olio
B6CHON10	E2b		
B6CHON5	E3a	C3 (E3a+E3b)	Bottiglia da olio
B6CHON4	E3b		
B6CHON13	E4a	C4 (E4a+E4b)	Bottiglia da olio
B6CHON18	E4b		

B6CHON6	E5a	C5 (E5a+E5b)	Bottiglia da olio
B6CHON*	E5b		
B6CHON14	E6a	C6 (E6a+E6b)	Bottiglia da olio
B6CHON11	E6b		
B6CHON33	E7a	C7 (E7a+E7b)	Bottiglia da vino
B6CHON31	E7b		
B6CHON35	E8a	C8 (E8a+E8b)	Bottiglia da vino
B6CHON34	E8b		

2.1.1 *Caratteristiche qualitative*

Poiché la funzionalità di un imballaggio si misura anche con caratteristiche qualitative, si è partiti dalla loro analisi con una dettagliata descrizione di alcune di esse. I parametri considerati sono stati: stato della bioplastica (adesione della bioplastica alla paglia; saldatura della bioplastica su tutta la superficie; presenza di soluzioni di continuità); stato della paglia (omogeneità di distribuzione e di resistenza alla pressione su tutta la superficie); corretta collocazione della bottiglia; evidenza della sagoma del contenuto. La valutazione è stata espressa con una scala di pesi, riportati in legenda nelle tabelle riassuntive dei risultati.

2.1.2 *Caratteristiche geometriche e massa di calotte e involucri*

L'obiettivo del lavoro è di avere involucri di protezione delle bottiglie integri e, possibilmente, simili gli uni agli altri. Tale obiettivo è giustificato da necessità di ordine sia commerciale sia logistico. Per oggettivare tali caratteristiche si è proceduto, per ogni calotta, alla misura delle sue dimensioni (lunghezza, larghezza e profondità) e della sua massa.

2.2 **Metodi**

Le valutazioni delle prestazioni meccaniche e termiche degli involucri sono state effettuate seguendo le indicazioni della normativa. La norma di riferimento è la UNI EN ISO 4180 che indica quali sono i programmi di prove di prestazione da utilizzare per i test di imballaggi di trasporto completi e pieni. Ai test previsti dalla norma ne sono stati aggiunti altri di nuova ideazione (prove di flessione, di resistenza all'accelerazione centrifuga) che precedono quelli normati per evidenziare eventuali criticità, peraltro già considerate nei paragrafi precedenti (ad esempio, il corretto riempimento delle calotte).

2.2.1 Prova di flessione

La prova è stata condotta sulle singole calotte ed è stata eseguita subito dopo la valutazione visiva. Lo scopo è stato di oggettivare la mancanza di materiale di riempimento oppure scarsa aderenza degli strati pagliosi e con la bioplastica. Ogni calotta è stata testata, vincolandola, in una precisa posizione, ad un piano mediante morsetti. La porzione sporgente della calotta è stata sottoposta ad un peso di 14 g applicato mediante un sistema di aggancio e con braccio costante. La misura rilevata è la differenza tra la posizione dello spigolo della calotta sul piano vincolato iniziale e la posizione raggiunta dopo l'applicazione del grave. Per quanto riguarda la valutazione della conformità della calotta, è difficile stabilire una scala di gravità assoluta. Il test è servito come riferimento della correttezza del riempimento e, di conseguenza, della resistenza a sollecitazioni concentrate, tra calotte differenti. Va comunque specificato che qualsiasi valore superiore ad uno spostamento nullo, sia da considerare negativamente



Figura 2-1: Sistema di applicazione della flessione. Senza grave a sinistra; con grave a destra

2.2.2 Resistenza all'accelerazione centrifuga

La prova è stata effettuata su due calotte assemblate a produrre l'involucro tal quale. Due di questi involucri sono stati posizionati sopra un piano oscillante (diametro di 0,5 m con scostamento eccentrico di 0,2 m) dotato di assi laterali fissi a sostegno di un secondo piatto con blocco a molla utile ad assicurare la posizione degli involucri. Il test è stato condotto impostando la velocità di rotazione pari a 150 giri/min (velocità tangenziale di 4 m/s) per tempi

da 10 a 120 minuti. Le misure sull'involucro prevedevano la valutazione del mantenimento dell'assetto delle due calotte, registrando indirettamente la resistenza degli incastri delle stesse.

2.2.3 Prove d'urto

Le prove, verticali e laterali, sono state effettuate sugli involucri, contenuti all'interno di un guscio in cartone ondulato doppio, opportunamente dimensionato. Le misure sono state precedute dall'identificazione delle facce

2.2.4 Identificazione delle facce

Sulla base della normativa, quando l'imballaggio è posto nella configurazione prevista nel trasporto e di fronte ad un osservatore, la sua faccia superiore deve essere identificata col numero 1, la faccia posta a destra dell'osservatore col numero 2, il fondo col numero 3, la faccia laterale posta alla sinistra dell'osservatore col numero 4, la faccia di fronte all'osservatore col numero 5 e quella opposta a quest'ultima col numero 6 (Figura 2-2).



Figura 2-2: Identificazione delle facce dell'involucro

2.2.5 Prove d'urto verticali

La struttura utilizzata per effettuare questo test è stata allestita appositamente in laboratorio seguendo le indicazioni della normativa. È composta da un'asta in acciaio dell'altezza di circa 250 cm fissata al muro in cui sono stati praticati dei fori distanziati di 5 cm l'uno dall'altro (figura 2-3). Per effettuare i test di caduta è stata utilizzata una pinza fissata all'estremità di un'asta orizzontale. Le prove di caduta sono state effettuate partendo sempre dalla stessa altezza e variando, di volta in volta, le coppie di campioni contenute all'interno della scatola. Trattandosi di una confezione a forma di parallelepipedo per ogni campione sono state fatte 3 prove (una per ogni faccia diversa). Dopo ogni singola prova, sulla base di un esame visivo, gli eventuali danni riportati dall'imballaggio e, conseguentemente, dalla bottiglia di vetro (piena) contenuta al suo interno.



Figura 2-3: Dispositivo per prove d'urto verticale con impatto sulla faccia 1 (a sinistra) e 2 (a destra)

2.2.6 Prove d'urto laterale

Per le prove d'urto laterali sono stati simulati gli urti orizzontali causati dal movimento di un sistema a pendolo appositamente costruito in officina. L'attrezzatura utilizzata è costituita da un carrello in legno, di dimensioni consone a contenere il campione in analisi, collegato ad un supporto rigido fissato nel muro mediante aste di acciaio. Le aste sono collegate al carrello e al supporto fisso mediante cuscinetti per ridurre al minimo l'effetto dell'attrito. Questa struttura è stata costruita in modo tale che l'imballaggio, durante il moto circolare, non ruotasse e che l'involucro urtasse la parete contrapposta in perfetto allineamento orizzontale, e con tutta la superficie della faccia. Con questo sistema è stato possibile testare l'urto su 2 facce; quindi, ogni campione ha subito 2 prove d'urto, seguite dall'osservazione dell'imballaggio con la registrazione dello stato di integrità delle caratteristiche delle calotte e dell'involucro.

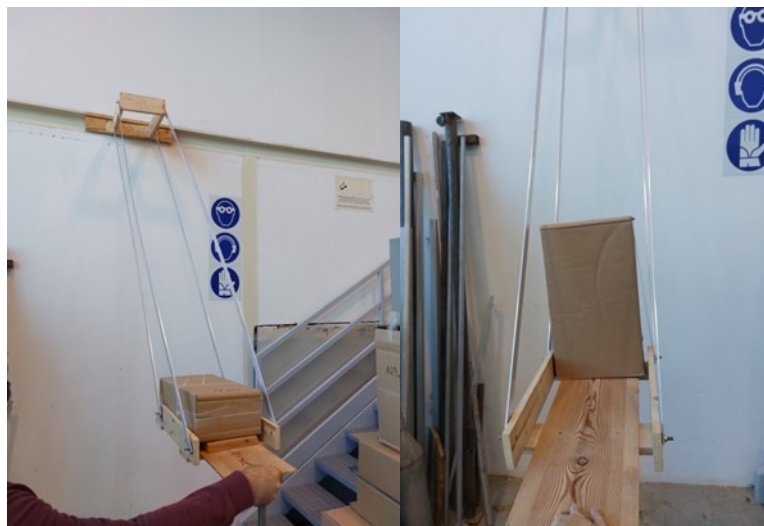


Figura 2-4: Dispositivo per le prove d'urto orizzontale con impatto sulla faccia 2 (a destra) e sulla faccia 1 (a sinistra)

2.2.7 Prove di condizionamento termico

Per questo tipo di test è stata utilizzata una stufa a ventilazione forzata, tenuta alla temperatura di 50 °C, al cui interno sono stati inserite le due metà complementari del packaging da testare contenenti al loro interno una bottiglia da 750mL piena e il tutto inserito dentro una scatola di cartone (packaging terziario). Per la misura di temperatura e umidità è stata utilizzata una sonda dotata di un sistema per la registrazione automatica dei parametri. La stessa consiste in un sensore DHT 22 connesso ad una interfaccia hardware Arduino UNO® opportunamente programmata. L'archiviazione dei dati avviene su foglio di calcolo attraverso una macro sviluppata da Parallax e modificata per l'uso. I dati di temperatura e umidità relativa sono stati registrati con un intervallo di 42 secondi.

Capitolo 3

PROVE E RISULTATI

3.1 Materiali

Lo studio tecnico dei prototipi si è svolto in una prima fase nella valutazione delle singole calotte e successivamente ha riguardato gli involucri completi. Le 16 calotte oggetto di studio (tabella 3-1) sono state esaminate per quanto riguarda le loro dimensioni. Le dimensioni di larghezza (L) sono comprese tra 35,4 cm e 38 cm e il valore più frequente è di 37 cm. Abbinando le calotte come indicato in tabella a costituire l'involucro (tabella xz cap 2) è evidente però che questa dimensione è molto simile ad eccezione di un caso dove lo scarto tra le due calotte è di oltre 2 cm. Per quanto riguarda le lunghezze (l) si distinguono i primi sei gruppi di calotte (bottiglie da olio) e gli ultimi due gruppi (bottiglie da vino). Nel primo caso il valore minimo è 19,3 cm e il valore massimo è di 20,2 cm la differenza tra le calotte accoppiate ha un valore massimo è di 0,5 cm. Nel secondo gruppo di calotte invece le misure della lunghezza sono praticamente identiche e lo scarto massimo è di 0,1 cm. Infine, anche per quanto riguarda la profondità, si possono osservare i due gruppi di involucro distinti. Nel caso degli involucri per bottiglie da olio la profondità massima è di 7,7 cm e la minima è di 5,8 cm, la differenza massima tra le calotte accoppiate è di 0,7 cm. Negli involucri per le bottiglie da vino la profondità massima è di 5,8 cm e la minima di 5,5 cm con differenza massima di 0,2 cm tra le calotte accoppiate. Conseguenza della differenza di dimensioni è la variabilità dei volumi delle diverse calotte, negli involucri per bottiglie da olio si passa da un valore minimo di 2783,59 cm³ ad un massimo di 3924,76 cm³ con differenza massima tra calotte accoppiate di 564 cm³. Negli involucri per le bottiglie da vino la differenza tra i volumi risulta essere di minore entità con variabilità inferiore ai 200 cm³ tra i 4 prototipi esaminati. La massa risulta molto variabile per quanto riguarda le calotte per bottiglie da olio con valore minimo di 429,7 g e con valore massimo di 610 g, con differenza di 190,3 g. Da sottolineare comunque che tra le 12 calotte 4 sono state formate prevedendo una forma piena, mentre le restanti 8 sono state formate con uno scavo corrispondente alla sagoma della bottiglia (Fig. 3-1). Tra i due gruppi, si evidenzia che le variabilità sono più contenute: tra le calotte piene il peso minimo e massimo risulta essere rispettivamente di 618,7 g e 609,7 g (differenza di 9 g); tra le calotte sagomate il

peso minimo è di 429,7 g mentre il peso massimo è di 601,9 g (differenza di 172,2 g). Minore variabilità è presente invece nelle misurazioni delle masse delle calotte per bottiglie di vino con scarto di 27,3 g. Si sottolinea che, in questo caso, le calotte sono piene.

Osservando i parametri qualitativi dei campioni analizzati, le calotte con fondo pieno sia da olio che da vino hanno parametri qualitativi generalmente positivi ad eccezione dell'integrità del film che presenta soluzioni di continuità per oltre il 50% dei campioni. Tale disformità riguarda anche i campioni delle calotte sagomate per le bottiglie da olio anche se con una minor incidenza (3 casi rispetto agli 8 analizzati). L'adesione del film plastico alla paglia è generalmente buona con un solo caso rilevato in una calotta sagomata. La sbordatura della pellicola invece è un difetto che riguarda le calotte sagomate dove è stata rilevata in 7 casi su 8. La paglia sembra essere ben pressata nelle calotte con fondo pieno mentre risulta meno coesa nelle calotte a fondo sagomato. La corretta collocazione della bottiglia nell'incavo risulta essere poco definita per le calotte dove è stata segnalata scarsa coesione della paglia. Gli incastri sono presenti solo nelle calotte utilizzate per le bottiglie da olio e risultano essere ben definiti in un solo caso.

In sintesi, considerando tali risultati, può essere affermato che tra i campioni analizzati si evidenzia un'elevata disformità per quanto riguarda le caratteristiche geometriche e le masse, tuttavia, è stato possibile individuare dei gruppi distinti (olio e vino) che presentano delle caratteristiche più omogenee. Comunque, i migliori risultati in termini di omogeneità geometrica e di massa si ottengono per le calotte con fondo pieno. Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative la maggior frequenza di difetti si osserva nelle calotte con fondo sagomato.

Tabella 3-1: Descrizione di parametri geometrici e qualitativi delle calotte

Codice	Dimensioni L x l x P (cm)			Volume (cm ³)	Massa (g)	Adesione film/paglia *	Integrità film **	Sbordatura pellicola ***	Coesione paglia ****	Corretta collocazione bottiglia #	Incastro ##
E1a	36,5	20	6,3	3788,84	618,7	+	+	+	++	+	-
E1b	36,5	20	5,9	3224,48	609,7	+	-	+	++	+	+
E2a	35,7	19,7	7	3246,14	601,9	+	-	+	++	+	+
E2b	35,7	19,6	6,6	3060,86	539,7	+	-	-	-	-	+
E3a	36	19,3	5,8	3288,36	609,8	++	-	+	++	+	+
E3b	36	19,7	6	3518,83	610,4	+	+	+	++	+	+
E4a	35,4	19,8	6,2	2865,81	441,4	+	+	-	+	+	+
E4b	35,8	20	6,5	3209,44	429,7	+	-	-	+	+	+
E5a	38	19,5	7	3509,88	566,6	-	+	-	-	-	-
E5b	35,7	20	7,7	3924,76	563,3	+	+	-	+	+	-

E6a	35	19,8	6,2	2783,59	457,1	+	+	-	+	+	+
E6b	35,6	20,2	6,1	2801,03	434,1	+	+	-	+	+	++
E7a	37	14	5,6	2742,87	423,4	+	+	+	+	+	n.d.
E7b	37,3	14	5,8	2865,68	449,7	+	+	+	+	+	n.d.
E8a	37,8	13,9	5,5	2669,81	450,7	+	+	+	+	+	n.d.
E8b	37,5	14	5,5	2717,11	450,7	+	+	+	+	+	n.d.

Legenda: *= +, buona adesione; ++, ottima adesione; -, non aderente

**= +, film integro; -, film non integro

***= + nessuna sbordatura; -, con sbordatura

****= ++, paglia coesa; +, parzialmente lasca; -, paglia lasca

#= +, sagoma corrispondente alla bottiglia; -, sagoma non corrispondente alla bottiglia

##= ++, buona definizione dei tasselli di incastro; +, parziale dei tasselli di incastro; -, mancata definizione dei tasselli di incastro. Evidenziato in verde le calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da vino; evidenziato in giallo calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio; non evidenziate calotte a pondo sagomato utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio



Figura 3-1: Calotte per bottiglie da olio con fondo pieno (a sinistra) e con fondo modellato con la sagoma della bottiglia (a destra)

3.2 Prove di flessione

La misura rilevata nelle prove di flessione è la differenza tra la posizione dello spigolo della calotta sul piano vincolato iniziale e la posizione raggiunta dopo l'applicazione del grave. Le misure condotte sulle singole calotte (tabella 3-2) hanno evidenziato deformazione minima e costante per le calotte con fondo pieno per le bottiglie da olio con valore minimo di 1,2 cm e massimo di 1,8 con scarto di 0,6 cm e valore medio di 1,55 cm. I valori di deformazione registrati per le calotte sagomate per bottiglia da olio risultano piuttosto variabili, infatti, il valore minimo è di 1,1 cm e il massimo è di 19 cm con scarto di 17,9 cm. Il valore medio per la precedente tipologia di calotte è di 7,42 cm. Le calotte per bottiglie da vino risultano avere una deformazione costante per tutti i prototipi, con valore minimo di 3,3 cm e massimo di 3,5

cm con scarto di 0,2 cm. Analizzando i dati si può notare che le calotte a fondo pieno hanno mediamente maggiore resistenza alla deformazione e questa caratteristica ha valori costanti per le calotte appartenenti alla stessa categoria (per bottiglie da olio e per bottiglie da vino). La variabilità dei valori registrati nelle calotte con esterno sagomato può essere legata alla maggior difficoltà di riempimento dello stampo che in questi modelli si presenta più articolato per la presenza di cavità più piccole, rispetto agli stampi utilizzati per produrre le calotte a fondo pieno, in cui risulta complicato pressare paglia non macinata. Inoltre, trattandosi di esemplari prodotti artigianalmente da diversi operatori si nota che la produzione di calotte a fondo pieno risulta essere più standardizzabile (nell'ottica di una produzione industriale su larga scala) rispetto agli altri esemplari con esterno sagomato.

Tabella 3-2: Livelli di deformazione rispetto all'orizzontale subiti dalle singole calotte con l'applicazione del grave

Codice	Deformazione (cm)
E1a	1,7
E1b	1,2
E2a	1,1
E2b	9,3
E3a	1,8
E3b	1,5
E4a	8,5
E4b	1,7
E5a	19
E5b	7,2
E6a	4
E6b	8,6
E7a	3,5
E7b	3,3
E8a	3,5
E8b	3,4

Legenda: evidenziato in verde le calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da vino; evidenziato in giallo calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio; non evidenziate calotte a pondo sagomato utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio

3.3 Resistenza all'accelerazione centrifuga

La prova è stata eseguita utilizzando un vibrovaglio impostato a 150 rpm dotato di apposito sistema di fissaggio delle calotte sul piano rotante eccentrico. Lo scopo di tale prova è quello

di verificare l'efficienza dei tasselli di incastro tra due calotte complementari. Il tempo di durata della prova non ha superato i 30 secondi in quanto gli incastrati si sono dimostrati in tutti i casi inadatti a conferire al packaging caratteristiche di assemblaggio idonee a sopportare le sollecitazioni che si possono verificare durante le varie fasi logistiche (principalmente di trasporto). A seguito di questa valutazione si è reso necessario l'utilizzo di un packaging terziario (scatola in cartone alveolato) per garantire al prodotto caratteristiche idonee di resistenza meccanica alle varie sollecitazioni. Le prove successive si sono svolte utilizzando come campione una bottiglia piena avvolta da due calotte complementari (packaging secondario), il tutto inserito all'interno di una scatola in cartone alveolato costruita su misura e sigillata.

3.4 Prove d'urto verticale

La normativa che regola le prove di urto verticale è la ISO EN 2248, sulla base di questa è stata messa a punto in laboratorio una struttura appositamente dedicata per i test. Tutte le prove si sono svolte dall'altezza di 2,20 m e al termine di ognuna è stata fatta un'analisi visiva del provino registrando le caratteristiche riportate in tabella x.3. Le bottiglie piene utilizzate durante le prove (1 L per l'olio e 0,75 L per il vino) non hanno riportato alcuna lesione, anche a seguito di urti ripetuti. Le calotte per bottiglia da olio a fondo pieno non hanno mostrato problemi di perdita e/o sfaldamento di materiale interno a seguito delle prove, in un solo caso si è registrata perdita di paglia a seguito della lesione del film plastico durante l'ultima prova. Le calotte con fondo sagomato hanno confermato la scarsa resistenza e integrità, messa in evidenza già nelle precedenti valutazioni, solo un campione non ha mostrato danni significativi a seguito delle tre prove, osservando le valutazioni sugli altri tre campioni si può notare un progressivo peggioramento delle caratteristiche al succedersi degli urti. Le calotte per bottiglie da vino in due prove su tre hanno riportato danni da sfaldamento della paglia interna e lesioni al film plastico in particolare alla base della bottiglia.

Tabella 3-3: Reazione di packaging primario (bottiglia) e packaging secondario (calotta) a seguito dell'urto verticale testato sulle tre facce diverse del parallelepipedo

Campione	Faccia 1		Faccia 2		Faccia 3	
	Involucro *	Bottiglia **	Involucro *	Bottiglia **	Involucro *	Bottiglia **
C1	+	+	+	+	-	+
C2	-	+	-	+	-	+
C3	+	+	+	+	+	+
C4	+	+	+	+	+	+
C5	+	+	-	+	-	+

C6	+	+	+	+	-	+
C7	■	■	■	■	■	■
C8	■	■	■	■	■	■

Legenda

*=+, nessuna lesione; -, perdita paglia.

**=+, nessuna lesione; -, lesionata.

Evidenziato in verde le calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da vino; evidenziato in giallo calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio; non evidenziate calotte a fondo sagomato utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio

3.5 Prove d'urto laterale

I test di urto laterale sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di una struttura a pendolo realizzata appositamente come da normativa ISO EN 2244. Gli urti laterali sono stati testati sulle due facce di minor superficie e al termine di ogni prova i campioni sono stati sottoposti ad esame visivo per valutare l'eventuale presenza di sfaldamenti o lesioni in seguito all'urto. La velocità tangenziale raggiunta dal sistema al momento dell'impatto del campione con la parete è di circa 10 km/h ed è la medesima per tutte le prove in quanto il carrello è partito sempre dalla stessa posizione. I risultati della prova sono stati positivi sia per quanto riguarda le bottiglie sia per gli involucri, infatti, non è stato registrato alcun tipo di danno.

Tabella 3-4: Reazioni di packaging primario e secondario a seguito di urto laterale testato su faccia 1 e faccia 2

Campione	Faccia 1		Faccia 2	
	Involucro *	Bottiglia **	Involucro *	Bottiglia **
C1	■	■	■	■
C2	+	+	+	+
C3	■	■	■	■
C4	+	+	+	+
C5	+	+	+	+
C6	+	+	+	+
C7	■	■	■	■
C8	■	■	■	■

Legenda:

*=+, nessuna lesione; - lesionato

**=+, nessuna lesione; - lesionata

Evidenziato in verde le calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da vino; evidenziato in giallo calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio; non evidenziate calotte a fondo sagomato utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio

3.6 Prove di condizionamento

La prova di condizionamento termico è stata condotta mediante l'utilizzo di una stufa a ventilazione forzata con temperatura impostata a 50°C. Il campione è stato sottoposto a condizionamento termico per un tempo di circa 5 ore. Questa tipologia di stufa viene utilizzata normalmente per l'essiccazione di materiali derivanti da biomasse, processo favorito dalla ventilazione. In questo test viene simulata una condizione che si può facilmente verificare durante le operazioni di trasporto non refrigerato nei mesi più caldi. L'aumento dell'umidità, misurato nella prima fase di prova (figura 3-2), rappresenta una criticità che deve essere presa in considerazione nell'organizzazione logistica. Infatti, alte temperature e umidità vicino alla saturazione sono le condizioni ideali per lo sviluppo di funghi e muffe che trovano substrato ideale nella paglia non trattata (come quella utilizzata in questo caso specifico). L'esposizione ad alta umidità e calore per alcune ore possono innescare inoltre il processo di degradazione del PLA, alterandone le caratteristiche chimico-fisiche ed il colore. Il contenuto di umidità è sceso velocemente dopo il raggiungimento del picco (U. R. 93,3%), per effetto della ventilazione forzata della stufa, ed è continuato a diminuire per tutta la durata della prova.

L'altro parametro misurato nella prova è la temperatura interna al packaging secondario (figura 3-3). La temperatura aumenta rapidamente nelle prime due ore di condizionamento dopo di che assume andamento asintotico. Rispetto al valore iniziale di circa 24°C, la temperatura finale dopo circa 5 ore risulta doppia, assestandosi su valori inferiori al valore massimo impostato di circa 7°C. L'andamento della temperatura della bottiglia rappresenta un parametro che, se mal gestito, può portare deterioramento del prodotto contenuto. Risulta essenziale valutare con attenzione le modalità di trasporto prendendo in considerazione nei periodi più caldi e per lunghe distanze l'utilizzo di mezzi di trasporto refrigerati. Al termine della prova l'imballaggio è stato visivamente analizzato e non si sono evidenziate alterazioni.

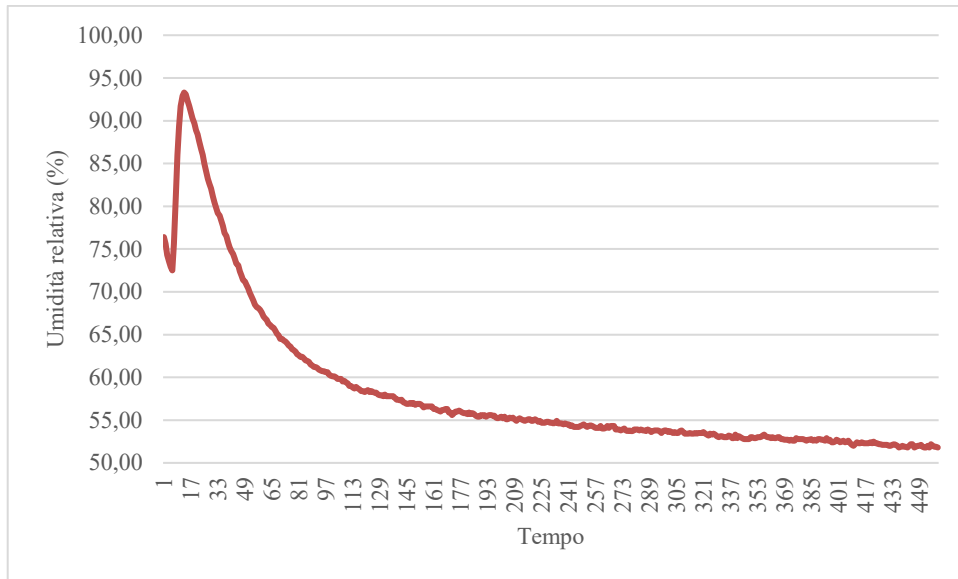


Figura 3-2: Evoluzione del contenuto di umidità relativa interno al packaging secondario durante la prova di condizionamento (il tempo indicato si riferisce al momento del campionamento del dato, intercorso ogni 42 secondi)

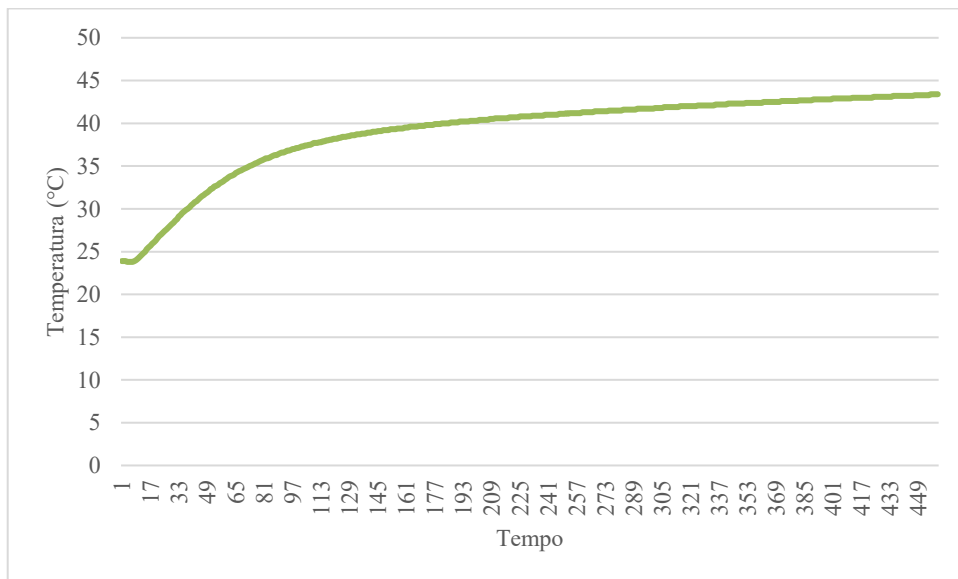


Figura 3-3: Evoluzione della temperatura interna al packaging secondario nel corso della prova di condizionamento (il tempo indicato si riferisce al momento del campionamento del dato, intercorso ogni 42 secondi)

3.7 Valutazioni complessive

A seguito delle prove condotte, alla luce dei dati raccolti, abbiamo compilato una scheda di valutazione per ogni prototipo fornito, attribuendo una valutazione da 1 a 10 (scala di gradimento crescente) per 16 quesiti (tabella 3-5) riguardanti sia gli aspetti estetici sia le caratteristiche funzionali.

Osservando le valutazioni sui singoli prototipi (tabella 3-6) emerge che le calotte che hanno ottenuto punteggio più elevato sono quelle con fondo pieno, sia per bottiglie da vino che da olio. Infatti, entrambe le tipologie hanno ottenuto valutazioni medio-alte per i 2/3 dei quesiti. Le calotte sagomate riportano valutazioni variabili in funzione del singolo prototipo, ma in tutti i casi il numero di valutazioni con punteggio medio-alto (superiore a cinque) è sempre minore rispetto alle calotte con fondo pieno. In questa ultima categoria è presente una calotta che ha valutazioni negative per il 94% dei quesiti.

Tabella 3-5: Quesiti di valutazione e loro peso

Quesiti		Peso
D1	Il packaging è integro e non è danneggiato.	1 - 10
D2	Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1 - 10
D3	Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1 - 10
D4	Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1 - 10
D5	Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1 - 10
D6	Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1 - 10
D7	Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1 - 10
D8	Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1 - 10
D9	Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1 - 10
D10	Il packaging è esteticamente gradevole	1 - 10
D11	Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1 - 10
D12	Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1 - 10
D13	Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1 - 10
D14	Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1 - 10
D15	Il packaging è compatibile con l'impilamento	1 - 10
D16	Il packaging resiste a variazione di temperatura	1 - 10

Tabella 3-6: Valutazione delle singole calotte

Codice packaging	Valutazione										Somma valutazioni da 1 a 5	Somma valutazioni da 6 a 10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
E1a	2	0	0	1	1	0	2	4	1	5	4	12
E1b	2	0	0	1	1	0	2	4	1	5	4	12
E2a	2	0	0	2	1	0	6	0	1	4	5	11

E2b	1	0	0	5	1	1	3	1	0	4	7	9
E3a	2	0	0	1	1	0	2	4	1	5	4	12
E3b	2	0	0	1	1	0	2	4	1	5	4	12
E4a	0	1	0	2	3	2	2	2	0	4	6	10
E4b	0	1	0	2	3	2	2	2	0	4	6	10
E5a	5	1	4	4	1	0	0	0	0	1	15	1
E5b	1	0	1	2	3	0	2	3	0	4	7	9
E6a	0	1	0	2	2	2	3	2	0	4	5	11
E6b	0	1	0	3	3	1	3	1	0	4	7	9
E7a	2	0	0	1	1	0	3	4	0	5	4	12
E7b	2	0	0	1	1	0	2	5	0	5	4	12
E8a	2	0	0	1	1	0	2	5	0	5	4	12
E8b	2	0	0	1	1	0	2	5	0	5	4	12

Legenda: evidenziato in verde le calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da vino; evidenziato in giallo calotte a fondo pieno utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio; non evidenziate calotte a pondo sagomato utilizzate a formare involucri per bottiglie da olio

Per mettere in risalto i punti di forza e di debolezza delle calotte oggetto di studio abbiamo riportato la frequenza di valutazione per ogni singolo quesito (tabella 3-7). I punti di forza degli esemplari analizzati risultano essere la resistenza agli urti e alla variazione di temperatura, maggiore variabilità tra le varie calotte si è registrata durante la prova di resistenza alla deformazione. I punti di debolezza delle calotte analizzate risultano prevalentemente legati all'aspetto estetico.

Tabella 3-7: Frequenza di valutazione per ogni quesito

Quesiti	Valutazione										Somma valutazioni da 1 a 5	Somma valutazioni da 6 a 10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
D1	1	0	0	1	0	1	1	4	0	8	2	14
D2	0	0	0	1	0	0	6	9	0	0	1	15
D3	0	0	0	1	0	0	2	13	0	0	1	15
D4	0	0	0	0	1	0	15	0	0	0	1	15
D5	1	0	0	1	4	0	1	4	5	0	6	10
D6	0	0	2	13	0	0	1	0	0	0	15	1
D7	8	1	0	7	0	0	0	0	0	0	16	0
D8	0	0	1	0	11	4	0	0	0	0	12	4
D9	1	0	0	3	4	0	8	0	0	0	8	8
D10	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
D11	1	0	0	2	4	0	1	8	0	0	7	9
D12	1	0	0	0	1	3	3	8	0	0	2	14
D13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	15	1	15
D14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15	1	15

D15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15	1	15
D16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16

Di seguito (dalla tabella 3-8 alla tabella 3-24) sono riportate le valutazioni compilate per ogni calotta oggetto di analisi.

Tabella 3-8: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E1a

Calotta E1a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-9: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E1b

Calotta E1b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-10: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E2a

Calotta E2a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-11: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E2b

Calotta E2b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-12: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E3a

Calotta E3a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-13: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E3b

Calotta E3b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-14: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E4a

Calotta E4a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-15: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E4b

Calotta E4b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-16: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E5a

Calotta E5a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-17: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E5b

Calotta E5b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-18: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E6a

Calotta E6a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-19: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E6b

Calotta E6b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-20: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E7a

Calotta E7a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-21: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E7b

Calotta E7b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-22: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E8a

Calotta E8a										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabella 3-23: Valutazione delle caratteristiche meccaniche ed estetiche della calotta E8b

Calotta E8b										
Il packaging è integro e non è danneggiato.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unità complete e corretto imballaggio dell'assortimento.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging primario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensioni corrette del pacco (rispetto al packaging terziario)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Resistenza a sforzo laterale o a flessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta gli standard di minimizzazione del materiale utilizzato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging riflette nell'aspetto quello che è il contenuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è riconducibile a una forma geometrica definita	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nel caso di multimateriali i vari elementi sono fusi tra loro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è esteticamente gradevole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il processo di compressione dei materiali (se presente) ha raggiunto un livello soddisfacente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging rispetta le funzioni per cui è stato progettato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urto verticale (caduta da altezze conformi allo stoccaggio della filiera di riferimento)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è resistente a urti compatibili con la normale manipolazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging è compatibile con l'impilamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Il packaging resiste a variazione di temperatura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Capitolo 4

CONCLUSIONI

Al termine della serie di prove eseguite si vogliono proporre alcune considerazioni.

Innanzitutto, si sottolinea come questo tipo di packaging sia destinato ad essere adottato in molti settori perché la produzione si ottiene a valle di una filiera produttiva, la cerealicola, che ha un sottoprodotto, la paglia, attualmente poco valorizzato. Inoltre, i materiali a fine vita del packaging possono entrare nella filiera del compostaggio con i residui organici domestici.

Tuttavia, entrando nel vivo del lavoro svolto, devono essere sottolineati alcuni aspetti non completamente positivi. Per le caratteristiche funzionali sono emerse alcune criticità su cui è necessario lavorare per il perfezionamento dell'imballaggio. In primis si può notare nella maggior parte dei prototipi, sottoposti a prove di urto ripetute, sia verticale che orizzontale, come da normativa, alcune criticità, infatti, il film bioplastico ha mostrato scarsa resistenza, scollandosi e lesionandosi in più punti, con perdite di materiale interno. Inoltre, la paglia, scarsamente coesa, ha lesionato il film bioplastico esterno. Il fenomeno si è ripetuto anche a seguito di alcune cadute verticali per sollecitazioni causate dal fondo della bottiglia che ha creato delle lesioni al film.

Le prove di resistenza termica dell'involucro hanno evidenziato che, in assenza di vettori termoregolati, con temperature esterne elevate (concentrazioni all'interno degli abitacoli prossime anche ai 50 gradi come verificato nella estate 2023), l'autonomia di trasporto è solo su brevi distanze e, comunque, per tempi non superiori alle 2 ore. Inoltre, la prova di condizionamento ha messo in evidenza che, con un materiale organico non anidro, l'umidità presente si libera fino a saturare, almeno potenzialmente l'atmosfera interna al packaging, arrivando ad UR del 93%. Queste condizioni potrebbero portare allo sviluppo di spore presenti naturalmente sulla paglia.

L'osservazione visiva delle calotte ha evidenziato, in numerosi casi, una mancata standardizzazione geometrica e rivestimenti esterni poco definiti. In particolare, è risaltata la presenza di abbondante bioplastica del rivestimento esterno, in eccessi e sbordature, soprattutto ai lati, che quindi hanno un rivestimento fragile e mal saldato. Per ovviare a questa problematica si potrebbe provare ad utilizzare della paglia macinata che darebbe al packaging

maggior resistenza meccanica. È necessario lavorare anche sulla minimizzazione del materiale, soprattutto perché alcuni prototipi presentano eccessi di paglia (con pesi molto elevati) e di materiale bioplastico, con inutile consumo dei materiali. Questo servirebbe ad agevolare la logistica, in quanto la riduzione di massa e volume conferiscono al prodotto notevoli vantaggi, che si riflettono anche dal punto di vista economico. Tuttavia, a questo proposito, si deve affermare che la riduzione non deve essere a scapito della resistenza. Questa asserzione è stata confutata dalle prove di resistenza, negative, per la maggior parte delle calotte con fondo sagomato.

Infine, per rendere il prodotto utilizzabile e raggiungere un livello qualitativo compatibile con le esigenze di mercato, occorrerebbe creare uno stampo e modalità di assemblaggio della paglia standard che definisca in maniera precisa sia le dimensioni esterne che l'involucro dove sarà contenuta la bottiglia.

Valorizzare un prodotto tramite l'uso di un imballaggio appositamente dedicato significa che il packaging deve caratterizzare il prodotto contenuto e risultare attraente al consumatore rendendolo disponibile ad investire una somma di denaro maggiore per un prodotto di qualità superiore. Dalle valutazioni è emersa la necessità di migliorare l'aspetto estetico anche a scapito della resistenza meccanica in termini assoluti che potrebbero essere parzialmente assolti dal packaging terziario. Il packaging secondario potrebbe evolversi come un involucro di minimo spessore che riproduce le forme del contenuto evocando, agli occhi del consumatore, il prodotto interno. Sul profilo estetico c'è ancora da migliorare, rivalutando anche le funzionalità prioritarie del packaging. I prototipi forniti a seguito delle valutazioni fatte al primo esemplare in precedenti lavori presentano in alcuni modelli caratteristiche migliorative come la forma esterna della bottiglia e la riduzione dello spessore dello strato interno di paglia.

Capitolo 5

BIBLIOGRAFIA

- Anon., 1967. *Direttiva (UE) 67/548*. s.l., Parlamento e consiglio europeo.
- Anon., 1994. *Direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio*. s.l., Parlamento Europeo e Consiglio.
- Anon., 1999. *Direttiva (UE) 1999/45*. s.l., Parlamento e consiglio europeo.
- Anon., 2008. *La valorizzazione degli scarti di produzione agroalimentare*. [Online]
Available at: www.iswn.it
- Anon., 2015. *packaging ecosostenibile tutto italiano con i fagioli di scarto*. [Online]
Available at: www.regioneambiente.it
- Anon., 2018. *Direttiva (UE) 2018/852*. s.l., Parlamento Europeo e Consiglio.
- Anon., 2022. [Online]
Available at: www.eccoclimate.org
- Belviso, 2020. *Lotta alla plastica ed ecosistemi marini*. s.l.:s.n.
- Herrera, 2021. *il packaging sostenibile amico dell'ambiente*. [Online]
Available at: www.bioevolution.it
- Luciani, 2020. *Alternative sostenibili alla plastica monouso*. s.l.:s.n.
- Rinnovabili.it, 2023. *Riciclo della plastica in Italia: come, dove e quanto ne facciamo?*. [Online]
Available at: www.rinnovabili.it
- Rossi, A., 2022. *Il futuro del packaging alimentare è bio*. [Online]
Available at: www.ilgiornaledelcibo.it
- UNEP/MAP, 2015. *Marine Litter Assessment in the Mediterranean*. [Online]
Available at: www.unepmap.org

- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1992. *UNI EN ISO 2248 - Imballaggi - Imballaggi di trasporto completi e pieni - Prova di impatto verticale mediante caduta.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1993. *UNI EN 22206 - Imballaggi - Imballaggi di trasporto completi e pieni - Identificazione delle varie parti per le prove.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2001. *UNI EN ISO 2233 - Imballaggi - Imballaggi per il trasporto completi e pieni e carichi unitari - Condizionamento per le prove.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2002. *UNI EN ISO 2234 - Imballaggi - Imballaggi per il trasporto completi e pieni e carichi unitari - Prove di accatastamento con carico statico.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2002. *UNI EN ISO 2244 - Imballaggi - Imballaggi per il trasporto completi e pieni e carichi unitari - Prove d'urto orizzontale.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2005. *UNI EN 13428 - Imballaggi - Requisiti specifici per la fabbricazione e la composizione - Prevenzione per riduzione alla fonte.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010. *UNI EN ISO 4180 - Imballaggi - Imballaggi di trasporto completi e pieni - Regole generali per la definizione dei programmi di prova di prestazione.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2016. *UNI EN ISO 13355 - Imballaggi - Imballaggi per il trasporto completi e pieni e unità di carico - Prova di vibrazione casuale verticale.* s.l., s.n.
- WWF, 2018. *Mediterraneo in trappola. Come salvare il mare dalla plastica.* [Online] Available at: www.wwf.it/plastic

