



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E
AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

IMBALLAGGI INNOVATIVI DI
ORIGINE BIOLOGICA:
ASPETTI TECNICI E PROVE
SPERIMENTALI

INNOVATIVE BIOPACKAGING:
TECHNICAL ASPECTS AND
EXPERIMENTAL TESTS

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:
Tommaso Fratoni

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
PROF. DANIELE DUCA

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| ELENCO DELLE TABELLE..... | 5 |
| ELENCO DELLE FIGURE | 6 |
| INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI | 7 |
| CAPITOLO 1 ASPETTI NORMATIVI..... | 12 |
| 1.1 Norme che regolano il packaging | 12 |
| 1.1.1 Norma tecnica UNI EN 13428:2005..... | 15 |
| 1.2 Norma UNI EN ISO 4180..... | 17 |
| 1.2.1 Norme sul condizionamento e identificazione parti | 18 |
| 1.2.2 Prova a bassa pressione..... | 22 |
| 1.2.3 Prova di vibrazione casuale verticale..... | 24 |
| 1.2.4 Prove di accatastamento e compressione..... | 29 |
| 1.2.5 Prova d’urto orizzontale..... | 36 |
| 1.2.6 Prova d’urto verticale..... | 43 |
| CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI | 48 |
| 2.1 Condizionamento termico | 49 |
| 2.2 Prove di vibrazione | 50 |
| 2.3 Prove d’urto verticale..... | 51 |
| 2.4 Prove d’urto orizzontale..... | 52 |
| CAPITOLO 3 RISULTATI..... | 53 |
| 3.1 Condizionamento termico | 53 |
| 3.2 Prove di vibrazione | 55 |
| 3.3 Prove d’urto verticale..... | 56 |
| 3.4 Prove d’urto orizzontale..... | 57 |
| 3.5 Valutazioni finali | 57 |
| CONCLUSIONI | 59 |
| RINGRAZIAMENTI | 61 |

BIBLIOGRAFIA 63

ELENCO DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 1-1: Condizioni atmosferiche..... | 19 |
| Tabella 1-2: Condizioni dell'atmosfera esterna | 23 |
| Tabella 1-3: Pressioni di prova preferite..... | 24 |
| Tabella 1-4: Densità spettrale | 27 |
| Tabella 1-5: Parametri di prova casuali preferiti: intervalli di frequenza di prova | 28 |
| Tabella 1-6: Parametri di prova casuali preferiti: accelerazioni quadratiche medie | 28 |
| Tabella 1-7: Parametri di prova casuali preferiti: durate di prova | 29 |
| Tabella 1-8: Parametri di prova casuali preferiti: altezza di accatastamento di carichi sovrapposti | 29 |
| Tabella 1-9: Punti di riferimento..... | 31 |
| Tabella 1-10: Carichi preferiti..... | 33 |
| Tabella 1-11: Cataste: altezze preferite della catasta | 35 |
| Tabella 1-12: Cataste: durata sotto carico..... | 36 |
| Tabella 1-13: Velocità di prova d'urto preferite..... | 42 |
| Tabella 1-14: Definizione degli urti: forme d'onda preferite | 42 |
| Tabella 1-15: Definizione degli urti: durata preferita | 43 |
| Tabella 1-16: Definizione degli urti: accelerazione di picco preferita..... | 43 |
| Tabella 1-17: Altezze di prova preferite | 46 |
| Tabella 1-18: Definizione degli urti: forme d'onda preferite | 46 |
| Tabella 1-19: Definizioni degli urti: durate preferite | 47 |
| Tabella 1-20: Definizione degli urti: accelerazioni di picco preferite | 47 |
| Tabella 3-1: Risultati delle prove di vibrazione..... | 55 |
| Tabella 3-2: Risultati delle prove verticali..... | 56 |
| Tabella 3-3: Risultati delle prove d'urto orizzontali: imballaggio in posizione verticale . | 57 |
| Tabella 3-4: Risultati delle prove d'urto orizzontali: imballaggio in posizione orizzontale. | 57 |

ELENCO DELLE FIGURE

| | |
|---|----|
| Figura 1-1: Identificazione facce | 22 |
| Figura 1-2: Profilo di densità spettrale di potenza | 27 |
| Figura 1-3: Tester del piano inclinato | 38 |
| Figura 1-4: Apparecchiatura pendolo | 39 |
| Figura 1-5: Tolleranze sull'assetto dell'imballaggio in caso di impatto su un bordo..... | 41 |
| Figura 1-6: Tolleranze sull'assetto dell'imballaggio in caso di impatto su un angolo | 41 |
| Figura 2-1: Prototipo: parti dell'involucro con il calco formato dallo stampo in cui collocare la bottiglia (25,5 cm x 11,5 cm x 4,5 cm) | 48 |
| Figura 2-2: Prototipo: parti combacianti dell'involucro (9 cm)..... | 49 |
| Figura 2-3: Stufa a ventilazione forzata..... | 49 |
| Figura 2-4: Vibrovaglio circolare | 50 |
| Figura 2-5: Struttura per urti verticali | 51 |
| Figura 2-6: Urto sulla prima faccia..... | 52 |
| Figura 2-7: Urto sulla seconda faccia..... | 52 |
| Figura 3-1: Paglia fuoriuscita..... | 58 |

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Secondo l'ultimo rapporto "Plastica, il costo per società, ambiente ed economia" di Dalberg, commissionato dal WWF e pubblicato il 6 settembre 2021, il costo minimo per società, ambiente ed economia della plastica prodotta solo nel 2019 ammonta a 3.700 miliardi di dollari, cifra che supera il PIL dell'India.

Il rapporto sottolinea che senza interventi urgenti, entro il 2040, la produzione di plastica raddoppierà e la quantità dispersa negli oceani triplicherà giungendo a 29 milioni di tonnellate, arrivando ad avere impatti per un valore pari a 7.100 miliardi di dollari.

Inoltre:

«Le emissioni di gas serra (GHG) connesse al ciclo di vita della plastica arriveranno a rappresentare fino al 20% dell'intero bilancio globale del carbonio, accelerando ulteriormente la crisi climatica e i suoi effetti devastanti (WWF, 2021).»

Per far fronte a questa crisi ambientale, in cui la plastica svolge un ruolo chiave, e per limitare i "danni" prima che essi diventino irreversibili, la società si sta avviando verso l'uso sempre più frequente di materiali che hanno un minor impatto ambientale, prodotti a partire da fonti rinnovabili; stiamo parlando dei materiali biodegradabili.

Ma cosa sono i materiali biodegradabili?

Un materiale viene definito biodegradabile quando finisce di dissolversi negli elementi chimici che lo compongono, grazie all'azione di agenti biologici e microbiologici come batteri, animali, piante e altre componenti come sole e acqua, in condizioni ambientali naturali.

Questo processo naturale di dissoluzione porta alla trasformazione del materiale in nutrienti per il terreno, diossido di carbonio, acqua e biomassa, quindi elementi non dannosi nei confronti dell'ecosistema.

Tutti i materiali possono essere degradati, ma la differenza principale e determinante riguarda la velocità con cui avviene questo processo e le condizioni in cui avviene.

La velocità di biodegradazione è influenzata dalla natura chimica del materiale, come la dimensione molecolare, e dall'ambiente esterno.

Dal punto di vista della degradazione, un altro processo fondamentale è il compostaggio.

Un materiale è detto compostabile se può essere degradato biologicamente in ambiente aerobico, mediante l'azione di organismi; questo processo viene effettuato in un periodo di tempo limitato, rispettando determinate condizioni e sotto il controllo dell'uomo.

Esso porta alla produzione di una miscela di sostanze umiche, ovvero il compost.

La biodegradazione e il compostaggio hanno quindi gli stessi obiettivi: degradare la materia fino a scomporla negli elementi chimici di composizione.

Tuttavia, questi due fenomeni hanno differenze importanti che riguardano i tempi di degradazione e i prodotti finali di tale processo.

La biodegradazione è un processo naturale e più lento, mentre il compostaggio è un processo regolato dall'uomo, in un ambiente controllato e con tempi più brevi; inoltre, la biodegradazione completa ha come prodotti finali delle sostanze stabili che non possono essere degradate ulteriormente, mentre il compostaggio porta alla formazione di concime organico.

Tra i biomateriali, la bioplastica rappresenta il principale e il più funzionale sostituto della normale plastica ad elevato potenziale inquinante.

Una plastica può essere considerata "bio" se presenta almeno uno dei seguenti requisiti:

- È biobased, ovvero composta interamente o in parte da materiali che derivano da biomasse, quindi materiali di origine organica che non hanno subito processi di fossilizzazione.
- È biodegradabile.

È importante sottolineare che biobased non è sinonimo di biodegradabile, ovvero che i prodotti composti da materiali di origine organica non sono per forza biodegradabili.

Sul mercato è possibile distinguere tre tipologie diverse di bioplastiche:

- Bioplastiche che derivano parzialmente o interamente da biomassa, ma che non sono biodegradabili; degli esempi sono la bio-PE (polietilene), la bio-PET (polietilene tereftalato), entrambe fabbricate a partire dalla canna da zucchero e la bio-PA (poliacrilato), prodotta a partire da oli vegetali.
- Bioplastiche a base biologica e biodegradabili; degli esempi sono la PLA (acido polilattico), prodotta a partire da risorse 100% naturali come l'amido di mais, la canna da zucchero o la manioca e il MaterBi, ovvero una famiglia di bioplastiche prodotte a partire da miscele di amidi e polimeri biodegradabili.
- Bioplastiche biodegradabili costituite da materie prime non rinnovabili di origine fossile.

La maggior parte delle attuali bioplastiche deriva da biomassa (in particolare da biomassa ricca di carboidrati) e questa, a sua volta, proviene principalmente dall'agricoltura.

Inoltre, la maggior parte delle bioplastiche è anche compostabile quindi, al termine del processo di degradazione, può essere utilizzata come concime contribuendo al processo di crescita delle specie vegetali (i cui scarti verranno poi riutilizzati per la produzione di nuova bioplastica).

È quindi evidente come l'agricoltura rappresenti un prezioso alleato per questo settore e, allo stesso modo, come la produzione di bioplastica possa essere di grande aiuto per lo sviluppo di un'agricoltura circolare e sempre più sostenibile.

Le materie prime utilizzate per la produzione di questi biomateriali vengono distinte in tre generazioni:

- La prima generazione è caratterizzata da materie prime che derivano da piante ricche di carboidrati come, ad esempio, il mais, la canna da zucchero, la patata, la barbabietola.
- La seconda generazione è caratterizzata da materie prime con elevato contenuto lignocellulosico, quindi non destinate ad un utilizzo alimentare; esse rappresentano i sottoprodotti non commestibili delle culture alimentari come, ad esempio, la paglia, gli stocchi di mais.
- La terza generazione è caratterizzata da materie prime ricavate dalla coltivazione fuori suolo di alghe e microrganismi, i quali processano biomassa di scarto.

I materiali biodegradabili vengono utilizzati in svariati settori, uno di questi è sicuramente il packaging.

Il termine packaging racchiude tutte quelle attività che riguardano l'imballaggio, il confezionamento e la presentazione dei prodotti da offrire al pubblico.

Questo settore svolge un ruolo cruciale in ambito commerciale in quanto deve garantire che il prodotto imballato venga conservato nel miglior modo possibile, ovvero deve salvaguardare la sua integrità fisica e le sue caratteristiche qualitative.

La progettazione della forma deve essere fatta in modo tale che essa sia il più possibile funzionale al trasporto del prodotto confezionato.

Inoltre, l'imballaggio svolge un importante ruolo comunicativo in quanto esso serve a identificare la marca del prodotto e a specificare le principali caratteristiche di produzione e di uso del prodotto stesso; dal punto di vista estetico deve essere intrigante agli occhi del consumatore per aumentare la percentuale di acquisto rispetto ad altri prodotti della stessa gamma.

Nel mondo del packaging, negli ultimi anni, abbiamo potuto assistere ad un'importante rivoluzione in termine di sostenibilità, soprattutto da parte di aziende che fanno parte, in generale, del settore alimentare.

Questa rivoluzione nasce dalla necessità di ridurre drasticamente la quantità di rifiuti che derivano dagli imballaggi di vario genere che, ammontando a centinaia di milioni di tonnellate l'anno, hanno un impatto ambientale notevole.

Nonostante il riciclaggio di metallo, legno e carta abbia riscontrato uno sviluppo rilevante, per quanto riguarda la maggior parte delle materie plastiche, il loro completo smaltimento non è ancora fattibile; l'obiettivo è la completa sostituzione di queste materie con materiali 100% biodegradabili e quindi il superamento del tradizionale packaging e la diffusione di un innovativo biopackaging ecosostenibile.

Nel 2020 il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari e Forestali, il Dipartimento di Ingegneria Industriale e il Dipartimento di Biologia dell'Università di Firenze hanno messo a punto una ricerca con lo scopo di sviluppare un materiale innovativo, composito e sostenibile per la produzione di imballaggi terziari, basato sulla combinazione di fibre naturali e biopolimeri biodegradabili; questo progetto prende il nome di NeoPalea.

Il loro scopo è quello di produrre e immettere sul mercato una soluzione ecologica ai tradizionali materiali di imballaggio derivanti da fonti fossili, i quali rappresentano tutt'ora la prima scelta nel settore industriale nonostante sia noto il loro enorme impatto ambientale.

I materiali utilizzati in questo studio sono paglia e plastica biodegradabile MaterBi.

La paglia utilizzata deriva dalla grande quantità di residui prodotti dall'industria cerealicola che, molto spesso, vengono bruciati direttamente in campo diventando un costo aggiuntivo per l'azienda e un notevole inquinamento ambientale, dato anche dalla mancanza di controllo del processo di combustione; questo progetto mira a trasformare questo sottoprodotto da prodotto di scarto a risorsa rinnovabile.

La bioplastica MaterBi, utilizzata soprattutto per produrre buste della spesa, è stata scelta per la sua capacità di biodegradazione, essendo costituita da polimeri estratti da risorse agricole rinnovabili (mais, patate, zucchero di canna) e da fibre lignocellulosiche.

I prototipi creati sono costituiti da fasci di paglia, disposti in parallelo, che vengono pressati e ricoperti di bioplastica MaterBi e, per facilitare la miscelazione completa dei due materiali, vengono riscaldati per mezzo di un generatore di radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza; tali prototipi possono avere diverse forme e dimensioni grazie all'utilizzo di differenti stampi.

I modelli prodotti vengono poi sottoposti a varie prove di resistenza come la prova meccanica di compressione, la prova meccanica di flessione ed infine il test per la caratterizzazione della compostabilità.

Il design del nuovo materiale brevettato dall'Università di Firenze si basa quindi su quattro requisiti principali:

- Ridurre l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita del prodotto rispetto a materiali comuni.
- Migliorare le prestazioni in termini di protezione e sicurezza dei prodotti.
- Aumentare la competitività in termini di costi rispetto ai materiali tradizionali.
- Rispettare appieno le normative di riferimento.

Partendo dalle basi poste dal progetto NeoPalea dell'Università di Firenze, l'obiettivo perseguito dal progetto successivo, denominato RICREA, finanziato dalla Misura 16.1 della Regione Marche e seguito dal Dipartimento di Scienze agrarie, Alimentari ed Ambientale dell'Università Politecnica delle Marche, è la produzione di un prototipo di imballaggio terziario per bottiglie di vino o di olio, innovativo perché completamente di origine biologica. Anche in questo caso i materiali utilizzati saranno paglia non lavorata e bioplastica e la forma sarà su misura in base al prodotto confezionato.

La tesi si inserisce nel progetto RICREA perché ha condotto uno studio propedeutico alla verifica della resistenza del packaging a sollecitazioni meccaniche e termiche. La prima parte dello studio riguarda l'analisi di tutte la normativa (internazionale, europea e nazionale) che regola il mondo del packaging, in modo tale che il prototipo finale rispetti tutti i requisiti richiesti. Successivamente, si effettueranno tutte le prove meccaniche di resistenza per testare le caratteristiche fisiche dell'imballaggio prodotto, per verificare che esso salvaguardi l'integrità fisica e le caratteristiche qualitative del prodotto imballato.

In seguito ai dati ottenuti da tali prove, sarà possibile apportare eventuali modifiche in modo tale da ottenere un prodotto finale innovativo, completamente biodegradabile, quindi sostenibile e a minor impatto ambientale e con costi di produzione competitivi.

CAPITOLO 1

ASPETTI NORMATIVI

1.1 Norme che regolano il packaging

Il primo passo che qualsiasi impresa, coinvolta nella produzione di imballaggi, deve fare riguarda lo studio e l'analisi degli aspetti normativi.

Il mondo del packaging è infatti regolato da disposizioni internazionali, europee e nazionali le quali stabiliscono i requisiti essenziali che ogni imballaggio immesso nel mercato deve obbligatoriamente rispettare.

Tali normative definiscono 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 95/62/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 20 dicembre 1994 sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio e i suoi successivi aggiornamenti; l'ultima modifica, ovvero quella attualmente in vigore, è la Direttiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018.

L'Articolo 1 esplica lo scopo di tale direttiva:

«**Fine**

1. Fine della presente direttiva è armonizzare le misure nazionali in materia di gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio, sia per prevenirne e ridurre l'impatto sull'ambiente degli Stati membri e dei paesi terzi ed assicurare così un elevato livello di tutela dell'ambiente, sia per garantire il funzionamento del mercato interno e prevenire l'insorgere di ostacoli agli scambi nonché distorsioni e restrizioni alla concorrenza nella Comunità.

2. A tal fine, la presente direttiva prevede misure intese, in via prioritaria, a prevenire la produzione di rifiuti di imballaggio, a cui si affiancano, come ulteriori principi fondamentali, il riutilizzo degli imballaggi, il riciclaggio e altre forme di recupero dei rifiuti di imballaggio e, quindi, la riduzione dello smaltimento finale di tali rifiuti, allo scopo di contribuire alla transizione verso un'economia circolare.»

Quindi questa direttiva è rivolta a tutti gli imballaggi e a tutti i rifiuti di imballaggio immessi sul mercato nella Comunità Europea.

La parte principale che riguarda i requisiti fondamentali, in particolare i requisiti per la fabbricazione e composizione, per la riutilizzabilità e per la recuperabilità, è contenuta nell'allegato II.

L'allegato II recita:

«Requisiti essenziali concernenti la composizione e la riutilizzabilità e la recuperabilità (in particolare la riciclabilità) degli imballaggi:

1. Requisiti per la fabbricazione e composizione degli imballaggi

— Gli imballaggi sono fabbricati in modo da limitare il volume e il peso al minimo necessario per garantire il necessario livello di sicurezza, igiene e accettabilità tanto per il prodotto imballato quanto per il consumatore.

— Gli imballaggi sono concepiti, prodotti e commercializzati in modo da permetterne il riutilizzo o il recupero, compreso il riciclaggio, in linea con la gerarchia dei rifiuti, e da ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente derivante dallo smaltimento dei rifiuti di imballaggio o dei residui delle operazioni di gestione dei rifiuti di imballaggio.

— Gli imballaggi sono fabbricati in modo che la presenza di metalli nocivi e di altre sostanze e materiali pericolosi come costituenti del materiale di imballaggio o di qualsiasi componente dell'imballaggio sia limitata al minimo con riferimento alla loro presenza nelle emissioni, nelle ceneri o nei residui di lisciviazione se gli imballaggi o i residui delle operazioni di gestione dei rifiuti di imballaggio sono inceneriti o interrati.

2. Requisiti per la riutilizzabilità di un imballaggio

I seguenti requisiti devono essere soddisfatti simultaneamente:

— le proprietà fisiche e le caratteristiche dell'imballaggio devono consentire una serie di spostamenti o rotazioni in condizioni di impiego normalmente prevedibili;

— possibilità di trattare gli imballaggi usati per ottemperare ai requisiti in materia di salute e di sicurezza dei lavoratori.

— osservanza dei requisiti specifici per gli imballaggi recuperabili se l'imballaggio non è più utilizzato e diventa quindi un rifiuto.

3. Requisiti per la recuperabilità di un imballaggio

a) *Imballaggi recuperabili sotto forma di riciclaggio del materiale*

L'imballaggio deve essere prodotto in modo tale da consentire il riciclaggio di una determinata percentuale in peso dei materiali usati, nella fabbricazione di prodotti

commerciabili, rispettando le norme in vigore nella Comunità europea. La determinazione di tale percentuale può variare a seconda del tipo de materiale che costituisce l'imballaggio.

b) Imballaggi recuperabili sotto forma di recupero di energia

I rifiuti di imballaggio trattati a scopi di recupero energetico devono avere un valore calorifico minimo inferiore per permettere di ottimizzare il recupero energetico;

c) Imballaggi recuperabili sotto forma di compost

I rifiuti di imballaggio trattati per produrre compost devono essere sufficientemente biodegradabili da non ostacolare la raccolta differenziata e il processo o l'attività di compostaggio in cui sono introdotti.

d) Imballaggi biodegradabili

I rifiuti di imballaggio biodegradabili devono essere di natura tale da poter subire una decomposizione fisica, chimica, termica o biologica grazie alla quale la maggior parte del compost di risulta finisca per decomporsi in biossido di carbonio, biomassa e acqua. Gli imballaggi oxodegradabili in plastica non sono considerati biodegradabili.»

In Italia la Direttiva 94/62/CE è stata interamente recepita dal titolo II del decreto legislativo 22/97 prima e poi dalla parte IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”.

Oltre alla Direttiva 94/62, dal punto di vista pratico, nel 2004 è stato completato a livello europeo l'iter di riconoscimento di una serie di norme tecniche in cui vengono specificati i requisiti essenziali degli imballaggi; inoltre esse stabiliscono come dimostrare la conformità di tali requisiti ed eventualmente anche come dichiararla.

Nel 2005 questa serie di norme tecniche è stata recepita anche dall'Ente di normazione Italiano (UNI); sono le seguenti:

- UNI EN 13427:2005 – Imballaggi - Requisiti per l'utilizzo di norme europee nel campo degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio.
- UNI EN 13428:2005 – Imballaggi - Requisiti specifici per la fabbricazione e la composizione - Prevenzione per riduzione alla fonte.
- UNI EN 13429:2005 – Imballaggi - Riutilizzo.
- UNI EN 13430:2005 – Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili per riciclo di materiali.
- UNI EN 13431:2005 – Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili sotto forma di recupero energetico compresa la specifica del potere calorico inferiore minimo.

- UNI EN 13432:2002 – Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione - Schema di prova e criteri di valutazione per l'accettazione finale degli imballaggi.

La normativa UNI EN 13427 specifica quali sono i requisiti essenziali che un imballaggio immesso sul mercato deve possedere; questi requisiti essenziali sono tre: fabbricazione e composizione, riutilizzo e recupero.

Sulla base di questi tre punti, tale norma tecnica stabilisce un procedimento da seguire che combina l'applicazione delle altre cinque norme precedentemente citate; quindi essa rappresenta una norma tecnica “ombrello” per tutte le altre.

La normativa UNI EN 13428 stabilisce un procedimento per valutare che il peso e/o il volume dell'imballaggio garantisca funzionalità, sicurezza e accettabilità del prodotto confezionato.

I punti trattati da questa norma sono tre: prevenzione per riduzione alla fonte, presenza massima di metalli pesanti come piombo, cadmio, cromo esavalente e mercurio e presenza massima di sostanze o preparati pericolosi.

La normativa UNI EN 13429 decreta le caratteristiche ed i requisiti che un imballaggio deve possedere per essere definito riutilizzabile, ovvero quando la sua progettazione e costruzione gli permettono di portare a termine un determinato numero di trasporti di prodotto; stabilisce anche una serie di procedimenti per verificare tali requisiti.

La normativa UNI EN 13430 stabilisce i requisiti necessari ad un imballaggio per dimostrare la sua recuperabilità attraverso il riciclo di materia; stabilisce, inoltre, tutti i procedimenti che servono per verificare la sua conformità al recupero e la percentuale di riciclo di materia.

La normativa UNI EN 13431 specifica i requisiti necessari per un imballaggio per essere definito recuperabile sotto forma di energia e stabilisce i procedimenti da seguire per dimostrarlo; la norma indica un valore del potere calorico inferiore minimo, ovvero un valore maggiore o uguale a 5 MJ/kg.

La normativa UNI EN 13432 illustra quali sono i requisiti e quali sono i procedimenti per consentire il recupero organico dell'imballaggio e dei suoi materiali attraverso il compostaggio e il trattamento anaerobico, ottenendo quindi compost e biogas.

1.1.1 *Norma tecnica UNI EN 13428:2005*

Durante la fase di progettazione del nostro prototipo, la normativa più importante da seguire è sicuramente 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 al raggiungimento dell'area critica, ovvero i valori minimi di peso e/o volume al di sotto dei quali non è possibile scendere altrimenti verrebbe compromessa la funzionalità dell'imballaggio.

Indicativamente 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 dai singoli 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 la presenza massima 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).»

Per la misurazione di questi metalli pesanti vengono effettuate tre fasi: il campionamento, la preparazione della porzione da analizzare e l'analisi vera e propria della porzione da analizzare.

Il terzo punto regola la presenza massima di sostanze o 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.

1.2 Norma UNI EN ISO 4180

Una volta progettato il prototipo, la normativa da usare come riferimento è la UNI EN ISO 4180 – Imballaggi - Imballaggi di trasporto completi e pieni - Regole generali per la definizione dei programmi di prova di prestazione.

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.»

Questa norma definisce quindi una serie di prove di resistenza meccanica in laboratorio, le quali hanno lo scopo di simulare le condizioni di trasporto 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:

- a) Identificare i singoli elementi del sistema di distribuzione;
- b) Decidere quali pericoli questi elementi coinvolgono;
- c) 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);
- d) Decidere la sequenza di prova;
- e) 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.»

Nella nostra situazione, abbiamo a che fare con un sistema di distribuzione ben definito e con intensità dei pericoli determinata quindi, in base a quanto riportato nella normativa, dobbiamo fare riferimento al "Caso 1".

Una tipica sequenza di prova preferita, specificata in questo programma di prova, comprende:

- a) Condizionamento per le prove;
- b) Trattamento climatico;
- c) Vibrazione;
- d) Accatastamento;
- e) Urti.

1.2.1 *Norme sul condizionamento e identificazione parti*

Tutte le prove meccaniche di resistenza fanno riferimento a due fondamentali normative europee; la UNI EN ISO 2233, riguardante il condizionamento per le prove, e la UNI EN ISO 22206, riguardante l'identificazione delle varie parti per le prove.

UNI EN ISO 2233:

«La normativa specifica un metodo per il condizionamento degli imballaggi completi e pieni. Il campione di prova è esposto a condizioni atmosferiche predeterminate per un periodo di tempo predeterminato.»

Il punto 4 di questa norma definisce le condizioni atmosferiche da considerare, mentre il punto 5 puntualizza le eventuali tolleranze nelle diverse condizioni:

«4 Condizioni atmosferiche

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

Tabella 1-1: 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 |

5 Tolleranza

5.1 Temperatura

5.1.1 Tolleranza sul valore di picco

Per le condizioni 1,2,3 e 10, 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.

5.1.2 Tolleranza sulla media

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.
(Nota 1)

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.
(Nota 2)

5.2 Umidità relativa

5.2.1 Tolleranza sulla media

Per tutte le condizioni, la tolleranza sulla media 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. (Nota 1)

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. (Nota 2)»

Il punto 6 definisce l'attrezzatura necessaria per effettuare le prove:

«6 Apparecchiatura

6.1 Camera di condizionamento, avere 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 date al punto 5.

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.

6.2 Camera di essiccazione, se necessario, ridurre il tenore di umidità di alcune provette al di sotto di quello che si otterrà con il condizionamento.

6.3 Apparecchiature di misurazione e registrazione, sufficientemente sensibile e stabile 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 °C al minuto e le variazioni di umidità relativa di 5% al minuto.»

Il punto 7, invece, descrive la procedura per effettuare le prove:

«7 Procedimento

7.1 Selezionare le condizioni di temperatura e umidità relativa più appropriate per il trasporto e la conservazione della provetta da sottoporre a prova. Collocare la provetta nello spazio di lavoro della camera di condizionamento (6.1) ed esporla 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.

7.2 Sostenere il campione 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.

7.3 Quando la provetta è costruita 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%.»

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.

La nostra attenzione si concentra sugli imballaggi a forma parallelepipedica presentati nel punto 2.1. della norma:

«2.1. 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 1-1).

Nota – 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.

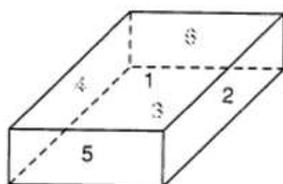


Figura 1-1: Identificazione facce

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).»

1.2.2 Prova a bassa pressione

Il trattamento climatico, espresso nel punto b del programma di prova, viene effettuato attraverso la prova a bassa pressione.

Questa prova viene specificata nella normativa ISO 2873, in particolare:

«La norma Internazionale ISO 2873 specifica un metodo per sottoporre gli imballaggi di trasporto completi e pieni ed i carichi unitari alle condizioni di bassa pressione simili a quelle che si riscontrano a bordo degli aerei.

Questo metodo è applicabile sugli imballaggi di trasporto completi e pieni ed i carichi unitari che sono destinati ad essere trasportati in aeromobili pressurizzati che volano a qualsiasi altitudine e in aeromobili non pressurizzati che volano a 3500 m o meno.»

Il punto 5 di tale normativa stabilisce l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test:

«5 Apparecchiatura

5.1 Recipiente a pressione di dimensioni sufficienti ad accogliere l'elemento di prova, con controlli della pressione e della temperatura per soddisfare i requisiti della procedura definita al punto 8.»

Il punto 8 stabilisce il procedimento da seguire:

«8 Procedimento

8.1 Collocare l'elemento di prova nel recipiente a pressione (vedere il punto 5) e ridurre la pressione ad una velocità non superiore a 150 mbar/min, fino a raggiungere 650 mbar ($\pm 5\%$). Mantenete questa pressione per il periodo prestabilito.

NOTA – 1 mbar = 1 hPa = 0,1 kPa

8.2 Ripristinare la pressione lasciando entrare aria secca a temperatura di laboratorio a una velocità tale che l'aumento della pressione non superi 150 mbar/min.

NOTA – Se si desidera studiare gli effetti della temperatura e della pressione negli aeromobili pressurizzati, l'atmosfera nel recipiente deve essere mantenuta a $(-8 \pm 1)^\circ\text{C}$ durante il periodo prestabilito.»

L'annesso A puntualizza alcune condizioni atmosferiche esterne in base all'altitudine:

«Annesso A – Condizioni atmosferiche

La temperatura nelle stive degli aerei pressurizzati scende raramente al di sotto di 0°C . Tuttavia, la temperatura degli imballaggi e dei carichi unitari al momento del carico nell'aeromobile dipenderà dalla temperatura ambiente registrata prima del carico e dalla successiva temperatura ambiente registrata nella stiva prima del decollo.

Questi effetti persistono per qualche tempo durante il volo.

Le stesse temperature ambientali possono anche influenzare le temperature degli imballaggi e dei carichi unitari negli aeromobili non pressurizzati. Quando questi aeromobili volano sopra 3500 m la pressione scenderà ai valori indicati nella Tabella 1-2, e la temperatura degli imballaggi e dei carichi unitari sarà influenzata in qualche misura dalla temperatura esterna dell'aria a queste altitudini a seconda della lunghezza del volo e del profilo di tempo/altitudine del volo.»

Tabella 1-2: Condizioni dell'atmosfera esterna

| Altitudine m | Pressione Mbar or hPa | Temperatura $^\circ\text{C}$ |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------|
| 4000 | 615 | -11 |
| 6000 | 470 | -24 |
| 8000 | 355 | -37 |
| 10000 | 265 | -50 |
| 12000 | 190 | -56.5 |
| 15000 | 120 | -56.5 |
| 18000 | 75 | -56.5 |
| 20000 | 55 | -56.5 |

Inoltre, nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabilite delle pressioni di prova preferite quando si esegue la prova a bassa pressione.

In particolare:

«10.4 Prove a bassa pressione (eseguite in conformità alla ISO 2873)»

Tabella 1-3: Pressioni di prova preferite

| Pressione hPa | Altitudine corrispondente m |
|--------------------------|--|
| 800 | circa 2000 (valico alpino) |
| 650 | circa 3500 (aeromobile) |
| 550 | circa 5000 (città di La Paz in Bolivia) |
| 360 | circa 8000 (aeromobile non pressurizzato) |
| 190 | circa 12000 (aeromobile non pressurizzato) |

1.2.3 Prova di vibrazione casuale verticale

La prova di vibrazione casuale verticale viene definita nella normativa ISO 13355.

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 varico 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:

«4. Apparecchiatura

4.1 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.

Inoltre l'apparecchiatura deve essere conforme ai requisiti e alle tolleranze indicate al punto 6.

4.2 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 6 di tale normativa stabilisce il procedimento da seguire:

«6 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 (vedere punto 4.1), 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.

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 in B.1 o B.2.

Nota – Gli spettri di vibrazione dipendono in larga misura dalle condizioni di trasporto, come le condizioni della strada o il tipo di veicolo scelto. Pertanto, dove possibile, eseguire prove con spettri ottenuti dai dati misurati dalle particolari condizioni di trasporto.

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 1-4 e la figura 1-2 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 1-4: Densità spettrale

| Frequenza, f (Hz) | Livello (m/s ²) ² / Hz | Livello g ² /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 | - |

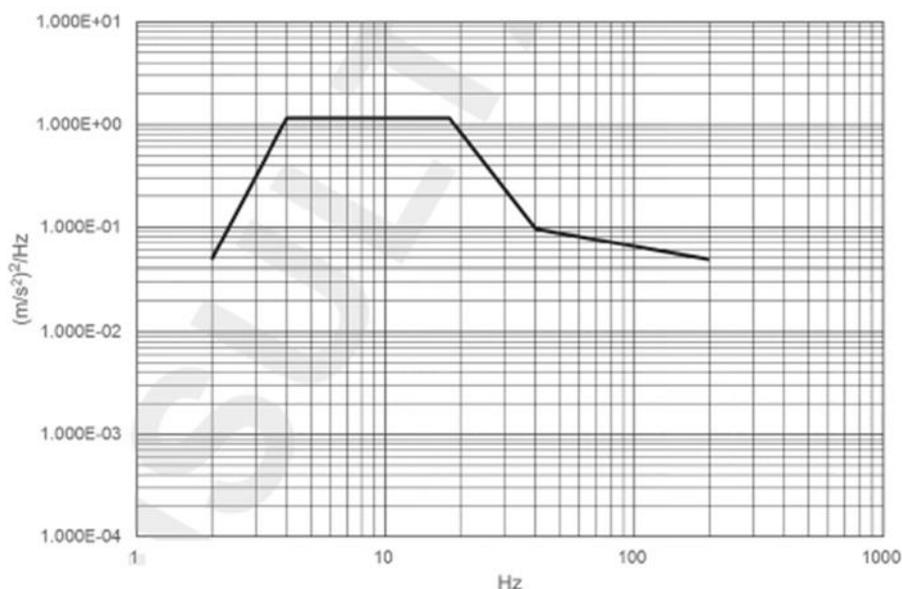


Figura 1-2: Profilo di densità spettrale di potenza

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.»

Nell'appendice informativa B vengono espone le densità spettrali di potenza ricavate da dati registrati.

In particolare, il punto B.1 riguarda i dati registrati in Europa i quali simulano 12 h di trasporto su strada; si tratta di una prova multilivello nella quale i tre livelli sono eseguiti in sequenza e in qualsiasi ordine.

Il punto B.2 riguarda i dati misurati dal trasporto all'interno del Giappone con un autocarro da 20 tonnellate, con sospensioni a balestra e metà carico.

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabiliti dei parametri di prova preferiti quando si esegue la prova di vibrazione casuale verticale.

In particolare:

«10.7.2 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 da 1-5 a 1-8.»

Tabella 1-5: 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 1-6: Parametri di prova casuali preferiti: accelerazioni quadratiche medie

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

Tabella 1-7: Parametri di prova casuali preferiti: durate di prova

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

Tabella 1-8: Parametri di prova casuali preferiti: altezza di accatastamento di carichi sovrapposti

| Altezza della catasta m |
|----------------------------|
| 1,50 |
| 1,80 |
| 2,50 |
| 3,50 |

1.2.4 Prove di accatastamento e compressione

La prova di resistenza alla compressione viene definita dalla normativa ISO 12048.

In particolare:

«La normativa ISO 12048 specifica un metodo per la prova della resistenza alla compressione di imballaggi per il trasporto completi e pieni e un metodo per l'esecuzione di una prova di accatastamento di imballaggi per il trasporto completi e pieni utilizzando la stessa apparecchiatura.

La prova può essere eseguita singolarmente per studiare gli effetti (deformazione, collassamento o rottura) della compressione o dell'accatastamento, o come parte di una sequenza di prove progettate per misurare la capacità di un imballaggio di resistere ad un sistema di distribuzione che include pericoli di compressione o accatastamento.»

Tale norma definisce anche il tipo di apparecchiatura da utilizzare per le prove:

«**Macchina per prove di compressione**, azionata da un motore, di tipo a piastre, in grado di applicare un carico mediante il movimento uniforme di una o entrambe le piastre ad una velocità relativa di 10 mm/min \pm 3 mm/min.

Piastre, ogni piastra deve essere:

- piatta:

- a) con una tolleranza di 1 parte su 1000 per aree superficiali $<1 \text{ m}^2$;
 - b) per aree superficiali $>1 \text{ m}^2$, come in caso di posizionamento orizzontale, la differenza in altezza fra i punti minimo e massimo della piastra non è maggiore di 1 mm;
- dimensionata in modo da estendersi su tutta l'area del lato dell'imballaggio di prova o dei dispositivi interposti con cui è in contatto;
 - rigida, in modo che la deformazione non sia maggiore di 1 mm in qualsiasi punto quando la macchina per prove applica un carico pari al 75% del suo valore massimo ad un blocco di 100 mm x 100 mm x 100 mm posizionato centralmente e sufficientemente resistente da sopportare il carico senza cedimenti o a quattro blocchi simili posti nei quattro angoli, in caso di piastre montate con perno orientabile.

Una piastra deve sempre rimanere orizzontale, entro una tolleranza di due parti su 1000, durante la prova.

L'altra piastra deve essere montata rigidamente in modo da rimanere sempre orizzontale entro una tolleranza di due parti su 1000 per tutta la durata della prova oppure essere trattenuta da uno snodo universale nel suo centro in modo da essere libera di inclinarsi in qualsiasi direzione.

Le superfici di lavoro delle piastre possono presentare localmente rientranze per il fissaggio di bulloni, ecc.

Mezzi per l'applicazione di un carico predeterminato per un tempo predeterminato, con un'oscillazione non maggiore del $\pm 4\%$ del carico predeterminato e con un movimento relativo delle piastre non maggiore di quello necessario per mantenere questo carico durante qualsiasi spostamento verticale della piastra superiore.

Dispositivo di registrazione o altro mezzo per indicare il carico applicato e lo spostamento delle piastre, con una percentuale di errore non maggiore del 2% del carico e un'accuratezza per registrare spostamenti delle piastre di $\pm 1 \text{ mm}$.

Mezzi per la misurazione delle dimensioni dell'imballaggio con un'accuratezza pari a $\pm 1 \text{ mm}$.»

Il punto 7 di tale norma stabilisce il procedimento da seguire:

«Se possibile, la prova deve essere eseguita alle stesse condizioni atmosferiche utilizzate per il condizionamento, nel caso in cui ciò sia critico per i materiali o l'applicazione dell'imballaggio. In altre circostanze, la prova deve essere condotta in condizioni atmosferiche il più vicino possibile a quelle utilizzate per il condizionamento.

Se possibile, eseguire la prova su cinque imballaggi identici.

7.1 Prova di compressione

7.1.1 Pesare l'imballaggio e il suo contenuto separatamente, riempire l'imballaggio e misurare le dimensioni esterne dell'imballaggio pieno.

7.1.2 Posizionare l'imballaggio di prova centralmente sulla piastra inferiore della macchina di prova, nell'assetto predeterminato.

Se il carico di compressione non deve essere applicato sull'intera superficie dell'imballaggio sottoposto a prova, dispositivi appropriati dovrebbero essere opportunamente interposti fra l'imballaggio e la piastra della macchina di prova quando si applicano questi carichi di compressione, al fine di simulare le condizioni incontrate nei sistemi di distribuzione.

7.1.3 Applicare il carico mediante movimento relativo delle piastre alla velocità appropriata, in modo tale che non si verifichino picchi maggiori del carico predeterminato, fino al raggiungimento del valore predeterminato oppure fino al verificarsi di un cedimento. Se si verifica prima un cedimento, registrare il valore del carico raggiunto.

Nella misurazione della deformazione, la lettura iniziale (il punto di riferimento), se non diversamente specificato, deve essere rilevata al carico iniziale che è una funzione del carico di compressione medio previsto secondo la tabella 1-9.

Tabella 1-9: Punti di riferimento

| Carico di compressione medio N | Punto di riferimento N |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 101 – 200 | 10 |
| 201 – 1000 | 25 |
| 1001 – 2000 | 100 |
| 2001 – 10000 | 250 |
| 10001 – 20000 | 1000 |
| 20001 – 100000 | 2500 |
| Ecc. | Ecc. |

7.1.4 Se richiesto, mantenere il carico predeterminato per un periodo di tempo predeterminato oppure fino al verificarsi di un cedimento. Se si verifica prima un cedimento, registrare il valore del tempo trascorso.

7.1.5 Rimuovere il carico mediante movimento delle piastre, esaminare l'imballaggio e, se si è verificato un cedimento, misurarne le dimensioni ed esaminare il contenuto per verificare la presenza di danni.

7.1.6 Se si desidera misurare la capacità di un imballaggio per il trasporto completo e pieno di resistere a carichi di compressione esterni applicati ai bordi o agli angoli opposti

dell'imballaggio, seguire il procedimento da 7.1.1 fino a 7.1.5, utilizzando una macchina di prova le cui piastre non siano libere di inclinarsi.

7.2 Prova di accatastamento

Una prova di accatastamento per un imballaggio per il trasporto completo e pieno, utilizzando uno dei tre metodi di applicazione di un carico statico, è indicata nella ISO 2234. (Nota 3)

7.2.1 Procedere come in 7.1.1 fino a 7.1.3 e mantenere il carico predeterminato per un tempo predeterminato oppure fino al verificarsi di un cedimento. Se si verifica prima un cedimento, registrare il valore del tempo trascorso.

Se si desidera misurare la capacità di un imballaggio per il trasporto completo e pieno di resistere a carichi di compressione esterni applicati durante l'accatastamento, è preferibile una macchina di prova con una piastra fissa. (Nota 4)

7.2.2 Rimuovere il carico mediante movimento delle piastre, esaminare l'imballaggio e, se si è verificato un cedimento, misurarne le dimensioni ed esaminare il contenuto per verificare la presenza di danni.

In qualsiasi momento durante la prova può essere necessario misurare le dimensioni. (Nota 5)

Profili appropriati rappresentativi di condizioni di carico particolari possono essere inseriti fra le piastre e l'imballaggio se richiesto. (Nota 6)»

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabiliti dei carichi preferiti quando si effettua la prova di accatastamento utilizzando un apparecchio di prova di compressione.

In particolare:

«10.8.2 Prova di accatastamento utilizzando un apparecchio di prova di compressione (eseguita in conformità alla ISO 12048)»

Tabella 1-10: Carichi preferiti

| Carichi preferiti N |
|--------------------------------|
| 250 |
| 500 |
| 750 |
| 1000 |
| 1500 |
| 2000 |
| 2500 |
| 3000 |
| multipli di 1000 |

La prova di accatastamento con carico statico viene definita nella norma UNI EN ISO 2234.

In particolare:

«La normativa UNI EN ISO 2234 specifica tre metodi per effettuare una prova di accatastamento su un imballaggio di trasporto completo e pieno, o su un carico unitario, utilizzando un carico statico.»

Il punto 5 di tale norma specifica i 3 metodi che si possono utilizzare per effettuare le prove:

«5 Apparecchiatura

5.1 Piano orizzontale, che è piatta (la differenza di altezza tra i punti più alti e quelli più bassi non supera i 2 mm) e rigida. Un pavimento di cemento di almeno 150 mm di spessore è adatto.

5.2 Mezzi di carico, che, in accordo con il metodo scelto (1,2 o 3) è descritto da 5.2.1 a 5.2.3.

5.2.1 Metodo 1: una pila di elementi di prova, ciascuno dei quali identico all'elemento sottoposto a prova. Il numero di elementi di prova è tale che la loro massa totale costituisce un carico appropriato.

5.2.2 Metodo 2: piattaforma di carico, libera di inclinarsi fino alla posizione di equilibrio sul pezzo di prova, con un carico appropriato. La piattaforma di carico, posta centralmente sulla parte superiore della provetta, deve essere sufficientemente grande da estendersi almeno 100 mm su tutti i lati della superficie superiore dell'elemento di prova e sufficientemente rigida da sostenere completamente il carico senza deformazione.

Questo tipo di carico è talvolta indicato come "carico libero". (Nota)

5.2.3 Metodo 3: piattaforma di carico, tale che la superficie inferiore del marciapiede sia costretta a rimanere orizzontale, insieme ad un carico appropriato. La piattaforma di carico,

posta centralmente sulla parte superiore della provetta, deve essere sufficientemente grande da estendersi almeno 100 mm su tutti i lati della superficie superiore dell'elemento di prova e sufficientemente rigida da sostenere completamente il carico senza deformazione

Questo tipo di carico è talvolta indicato come "carico guidato". (Nota 1)

Se si utilizzano guide per garantire che la piattaforma di carico rimanga orizzontale, non devono causare attriti che potrebbero influenzare i risultati della prova. (Nota 2)

5.3 Mezzi di misurazione della deformazione (se necessario), con precisione fino di ± 1 mm e in grado di indicare un aumento o una diminuzione delle dimensioni. Inoltre, l'apparecchio deve soddisfare i requisiti e le tolleranze del punto 8.

Il carico stabile e sicuro durante la prova dipende dall'attrito tra la superficie superiore dell'elemento di prova e la superficie inferiore della piattaforma di carico, nonché dalla capacità dell'elemento di prova di resistere alla deformazione. Occorre pertanto prevedere mezzi atti a consentire la realizzazione di una struttura di prova stabile e a garantire che, in caso di guasto, il carico sia trattenuto e non causi pericoli per il personale nelle vicinanze. (Nota)»

Il punto 8 di tale norma stabilisce la procedura da seguire:

«8 Procedimento

8.1 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 della sostanza di prova. In altri casi, la prova deve essere effettuata in condizioni atmosferiche che si avvicinano a quelle utilizzate per il condizionamento, il più vicino possibile.

8.2 Posizionare la pila dell'elemento di prova (5.2.1) o, in alternativa, la piattaforma di carico (5.2.2 o 5.2.3) centralmente sull'elemento di prova che è stata posta sulla superficie piana orizzontale (5.1).

8.2.1 Se si utilizzano i metodi 2 e 3, collocare le masse che compongono il carico sulla piattaforma di carico senza impatto, assicurandosi che siano in pieno contatto con la piattaforma di carico prima di essere rilasciate.

Le masse devono essere distribuite uniformemente sulla parte della superficie della piattaforma di carico a diretto contatto con la sostanza di prova, in modo che il baricentro del carico si trovi immediatamente al di sopra del centro della superficie superiore dell'elemento di prova. La massa del carico totale, compresa la massa della piattaforma di carico, non deve superare il 2% del valore predeterminato. La distanza del baricentro del carico al di sopra della piattaforma di carico non deve superare il 50% dell'altezza dell'elemento di prova.

8.2.2 Nei metodi 2 e 3, se vengono effettuate misurazioni, queste devono essere effettuate tra le due superfici esercitando una compressione sull'elemento di prova dopo l'applicazione di un precarico sufficiente a garantire un buon contatto tra la piattaforma di carico e l'elemento di prova.

8.3 Applicare il carico per il periodo di tempo richiesto (di solito 24 h, a seconda del materiale) o fino al crollo.

8.4 Rimuovere il carico ed esaminare l'elemento di prova. In qualsiasi momento durante la prova può essere necessario misurare le dimensioni. (Nota 1)

Inseriti opportunamente profilati per rappresentare particolari condizioni di carico possono essere posizionati sopra o sotto l'elemento di prova o sopra e sotto, come richiesto. (Nota 2)

Nel caso di elementi di prova immagazzinati su pallet o in pile, la prova deve essere effettuata su più elementi di prova affiancati o utilizzando un modello di impilamento effettivo. (Nota 3)»

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabilite delle altezze preferite delle cataste e delle durate preferite sotto carico.

In particolare:

«**10.8.1 Accatastamento (eseguito in conformità alla ISO 2234)**»

Tabella 1-11: Cataste: altezze preferite della catasta

| Altezze preferite della catasta m |
|--|
| 1,50 |
| 2,00 |
| 2,50 |
| 3,50 |
| 5,00 |
| 7,00 |

Tabella 1-12: Cataste: durata sotto carico

| Durata sotto carico |
|----------------------------|
| 1 giorno |
| 2 giorni |
| 3 giorni |
| 1 settimana |
| 2 settimane |
| 3 settimane |
| 4 settimane |

1.2.5 Prova d'urto orizzontale

La prova d'urto orizzontale viene definita nella normativa ISO 2244.

In particolare:

«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»

Il punto 5 di questa normativa stabilisce l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test:

«5 Apparecchiatura

5.1 Superficie d'urto che deve essere:

- a) un piano inclinato rispetto la verticale a $10^\circ \pm 1^\circ$ (per la prova sul piano inclinato), o
- b) 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 d'urto 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.

Inoltre, l'apparecchio deve soddisfare i requisiti e le tolleranze date nel punto 7.

5.2 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.

ESEMPIO – Una trave di acciaio con una lunghezza di 200 mm e una sezione trasversale di (100 ± 1) mm x (100 ± 1) mm con bordi arrotondati di raggio $(5 \pm 0,5)$ mm, posizionato centralmente alla superficie d'impatto (5.1).

5.3 I tipi di apparecchi d'urto utilizzabili sono descritti in 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

5.3.1 Tester del piano inclinato (vedere Figura 1-3) costituiti dai seguenti elementi:

5.3.1.1 Binario in acciaio a due rotaie inclinato a 10° rispetto all'orizzontale.

La distanza lungo l'inclinazione deve essere graduata a intervalli di 50 mm

5.3.1.2 Carrello di rotolamento il cui attrito superficiale tra il carrello/carrello di rotolamento e il campione di prova deve essere tale che durante il movimento da riposo a impatto il campione di prova non si muova rispetto al carrello, ma in modo che all'impatto il campione di prova si muova liberamente.

5.3.1.3 Superficie d'urto (o paraurti) conforme alle specifiche date dal punto 5.1, posta nella parte inferiore del binario con la faccia perpendicolare alla direzione di movimento del carrello lungo il binario.

5.3.2 Tester del piano orizzontale costituito dai seguenti elementi:

5.3.2.1 Binario in acciaio a due rotaie fisso sul piano orizzontale.

5.3.2.2 Carrello di rotolamento azionabile meccanicamente in modo che la sua velocità sia nota al momento dell'urto. L'attrito superficiale tra il carrello/carrello di rotolamento e il campione di prova deve essere tale che all'impatto il campione di prova possa muoversi liberamente.

5.3.2. Superficie d'urto o paraurti a un'estremità del binario. La superficie d'urto deve avere la faccia perpendicolare alla direzione di movimento del carrello lungo il binario con un'approssimazione di 1° nella direzione di movimento del carrello lungo il binario.

5.3.3 Apparecchiatura del pendolo 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 che soddisfa le specifiche del punto 5.1. Il sistema di sospensione deve poter muoversi liberamente e il suo percorso non deve essere ostruito quando l'imballaggio è montato sulla piattaforma (vedere Figura 1-4).

5.4 Apparecchio di misurazione dell'impatto se necessario, deve essere montato sul carrello, in modo da consentire la misurazione e la registrazione della decelerazione di picco e della velocità d'impatto.

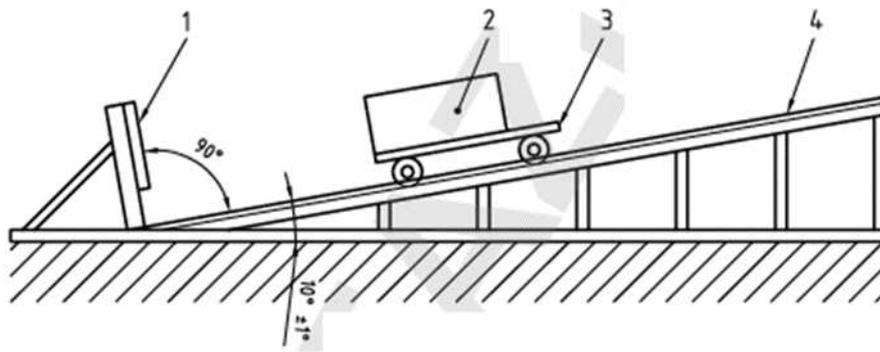


Figura 1-3: Tester del piano inclinato

Chiave

- 1 Impatto sulla superficie (o sul paraurti)
- 2 Imballaggio
- 3 Carrello di rotolamento
- 4 Binario in acciaio a due rotaie

NOTA 1 – Le rotaie e le ruote devono essere mantenute pulite.

NOTA 2 – I cuscinetti delle ruote devono essere lubrificati regolarmente. I cuscinetti a rulli sono raccomandati.

NOTA 3 – Una superficie d'urto adeguata comprende una serie di legni pesanti montati orizzontalmente lungo la faccia della struttura, come il pericolo interposto opzionale (5.2) che può essere montato facilmente quando necessario.

NOTA 4 – Si raccomanda di effettuare la superficie d'urto (o paraurti) in modo che il carrello possa percorrerla per circa 100 mm in modo che il campione di prova colpisca il paraurti prima che il carrello si fermi.

NOTA 5 – L'apparecchio deve essere dotato di un dispositivo che impedisca il rimbalzo del carrello dopo l'urto. In tale dispositivo può essere incorporato un ammortizzatore a molla o un ammortizzatore a olio.

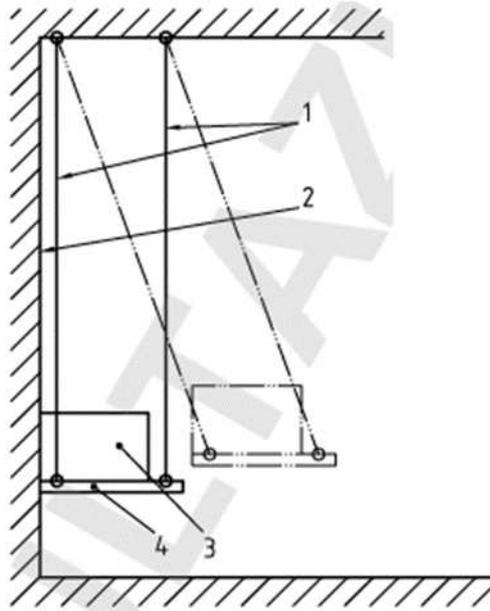


Figura 1-4: Apparecchiatura pendolo

Chiave

- 1 Barre d'acciaio o funi
- 2 Superficie d'impatto
- 3 Imballaggio
- 4 Piattaforma rettangolare

NOTA – Per alcuni tipi di imballaggio, come le damigiane, può essere sufficiente sospendere la provetta da un'unica asta o corda. In entrambi i casi il sistema di sospensione non deve imprimere un movimento rotatorio all'imballaggio.»

Il punto 7 di tale normativa stabilisce il procedimento da seguire:

«7 Procedimento

7.1 Generale

7.1.1 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.

7.1.2 La velocità dell'impatto deve essere compresa entro $\pm 5\%$ della velocità di impatto predeterminata.

7.1.3 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° .

7.1.4 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 (vedere Figura 1-5).

7.1.5 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 (vedere Figura 1-6).

7.2 Prova del piano inclinato

7.2.1 Collocare il campione di prova sul carrello in una posizione tale da assicurare che colpisca la superficie d'urto (5.3.1.3) nella posizione desiderata.

7.2.2 Se possibile, il campione di prova non deve sporgere oltre i bordi del carrello. Sollevare il carrello a tale altezza, fino all'inclinazione (5.3.1.1), che corrisponde alla velocità d'impatto desiderata, quindi rilasciarlo.

7.3 Prova del piano orizzontale

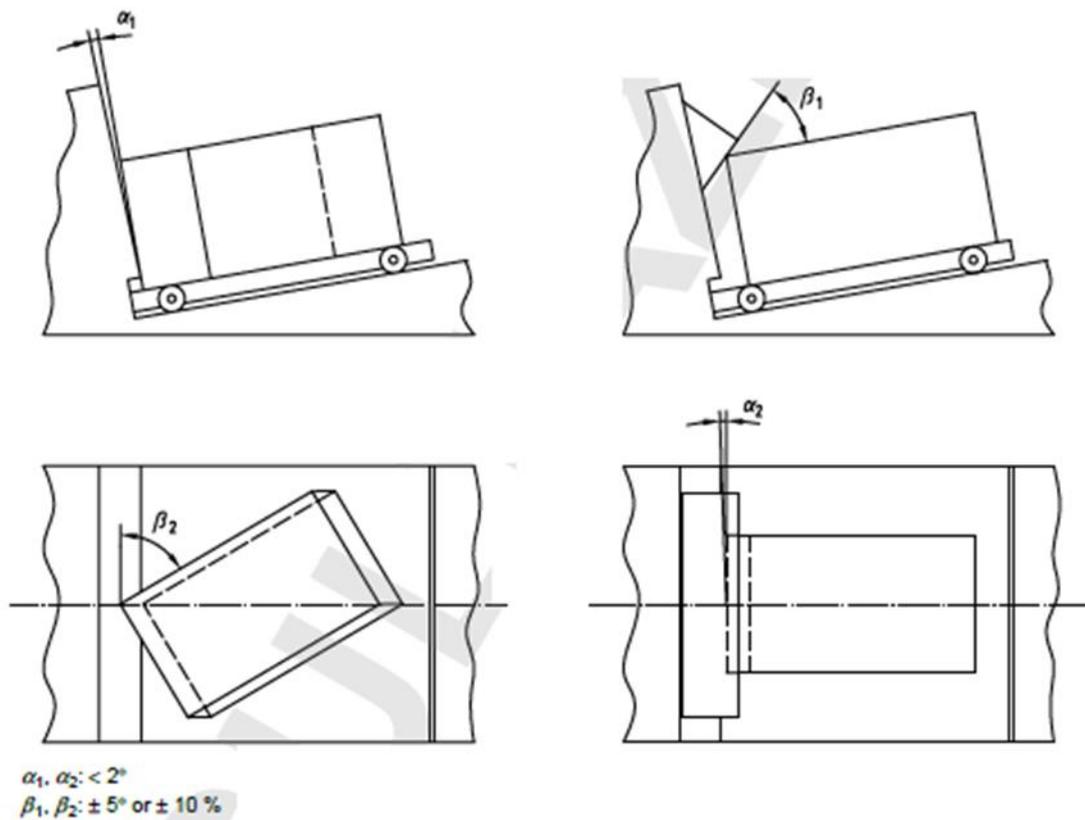
7.3.1 Collocare il campione sul carrello (5.3.2.2) come descritto al punto 7.1.

7.3.2 Regolare il carrello in movimento lungo il binario in acciaio ad una velocità predeterminata per ottenere la velocità d'impatto desiderata sulla superficie d'impatto (5.3.2.3).

7.4 Prova del pendolo

7.4.1 Collocare l'imballaggio sulla piattaforma rettangolare (vedere 5.3.3 e Figura 1-4) in modo che la faccia o il bordo che colpisce tocchi solo la superficie d'impatto.

7.4.2 Sollevare il pendolo tirando fuori la piattaforma alla distanza dalla superficie d'impatto adeguata alla velocità richiesta, quindi rilasciarla.



a) Impatto nel bordo verticale

b) Impatto nel bordo orizzontale

Figura 1-5: Tolleranze sull'assetto dell'imballaggio in caso di impatto su un bordo

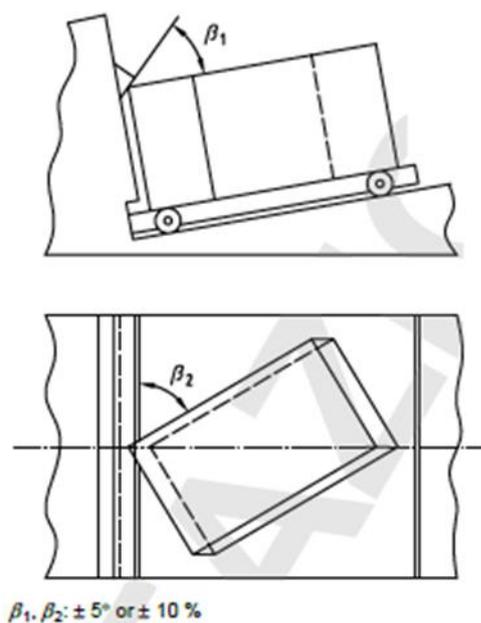


Figura 1-6: Tolleranze sull'assetto dell'imballaggio in caso di impatto su un angolo

NOTA – Indicato per la prova sul piano inclinato. Le stesse tolleranze si applicano alle prove sul piano orizzontale e sul pendolo.»

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabilite delle velocità d'urto preferite quando si esegue la prova d'urto orizzontale.

In particolare:

«10.5 Prova d'urto orizzontale (eseguita in conformità alla ISO 2244)

La prova può essere definita utilizzando una velocità d'urto selezionata dalla tabella 1-13.

Tabella 1-13: Velocità di prova d'urto preferite

| Velocità di prova preferite m/s |
|--|
| 1,0 |
| 1,3 |
| 1,5 |
| 1,8 |
| 2,2 |
| 2,7 |
| 3,3 |
| 4,0 |
| 5,0 |
| 7,0 |

Questi urti possono essere definiti anche in termini di forma d'onda, accelerazione di picco e durata. Questo metodo di definizione degli urti è possibile soltanto quando un laboratorio di prova dispone di un sofisticato sistema di acquisizione e di idonei accelerometri. La registrazione di questi dati migliora la qualità della prova. La severità è ben determinata e la riproducibilità è assicurata.

In questo caso, i parametri di prova sono indicati nelle tabelle da 1-14 a 1-16.

Tabella 1-14: Definizione degli urti: forme d'onda preferite

| Forme d'onda preferite |
|-------------------------------|
| Semisinusoidale |
| A dente di sega |
| Trapezoidale |

Tabella 1-15: Definizione degli urti: durata preferita

| Durata preferita ms |
|--------------------------------|
| 6 |
| 11 |
| 20 |
| 30 |
| 40 |
| 50 |
| 100 |

Tabella 1-16: Definizione degli urti: accelerazione di picco preferita

| Accelerazione di picco preferita m/s² |
|---|
| 50 |
| 100 |
| 150 |
| 200 |
| 300 |
| 400 |
| 500 |
| 600 |
| 800 |
| 1000 |

La prova d'urto orizzontale è definita scegliendo una velocità d'urto o una durata e un'accelerazione di picco dalla tabella 1-13, dalla tabella 1-15 o dalla tabella 1-16 per il tipo di forma d'onda desiderato (vedere la tabella 1-14).»

1.2.6 Prova d'urto verticale

La prova d'urto verticale viene stabilita dalla normativa 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.»

Il punto 4 della normativa stabilisce l'apparecchiatura necessaria per effettuare questi test:

«4. Apparecchiatura

Oltre ai requisiti indicati di seguito l'apparecchiatura deve rispondere ai requisiti e tolleranze indicate in 7.

4.1. Sistema di sollevamento tale da non causare danni all'imballaggio in prova sia durante il sollevamento sia durante lo sgancio.

4.2. Sistema di ritenzione per trattenere l'imballaggio in prova con le modalità previste fino al momento del rilascio.

4.3. Meccanismo di rilascio tale da non ostruire in alcun modo la caduta libera dell'imballaggio in prova, fino al momento dell'impatto.

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

Nota – 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.»

Il punto 7 di tale normativa stabilisce il procedimento da seguire:

«7. 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

Negli altri casi le condizioni atmosferiche devono comunque essere le più possibili vicine a quelle del condizionamento.

7.1. Sollevare l'imballaggio in prova e mantenerlo in posizione (vedere appendice) e 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 $\pm 2\%$.

7.2. 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:

«**A 1. Imballaggi a parallelepipedo**

A 1.1. Impatto sulle facce

Dovranno essere identificate le facce 1, 2, 3, ecc.

A 1.2. Impatto su uno spigolo

Dovranno essere identificati gli spigoli 1-2, 2-3, 3-4, ecc. e verrà inoltre predeterminato l'angolo che una delle due facce costituenti lo spigolo dovrà formare con il piano della superficie di impatto oppure dovranno essere identificati gli spigoli e inoltre verrà imposta la condizione che il centro di gravità dell'imballaggio si trovi sulla perpendicolare al punto di impatto oppure dovranno essere identificati gli spigoli e inoltre la condizione che i due spigoli paralleli più vicini a quello di impatto giacciono in un piano orizzontale.

A 1.3. Impatto su un vertice

Dovranno essere identificati i vertici 1-2-5, 3-4-6, ecc. e verranno inoltre predeterminati gli angoli che due delle facce costituenti il vertice dovranno formare con il piano di impatto oppure dovranno essere identificati i vertici e inoltre verrà imposta la condizione che il centro di gravità dell'imballaggio si trovi sulla perpendicolare al punto di impatto.»

Nella normativa UNI EN ISO 4180, in particolare nel programma di prova definito nel Caso 1, vengono stabilite le altezze di prova preferite quando si esegue la prova d'urto verticale.

In particolare:

«**10.6 Prova d'urto verticale (eseguita in conformità alla ISO 2248)**

L'altezza di caduta deve essere scelta dalla tabella 1-17.

Tabella 1-17: Altezze di prova preferite

| Altezze di prova preferite mm |
|---|
| 50 |
| 100 |
| 150 |
| 200 |
| 300 |
| 400 |
| 500 |
| 600 |
| 800 |
| 1000 |
| 1200 |
| 1500 |
| 1800 |
| 2100 |

Questi urti possono essere definiti anche in termini di forma d'onda, durata e accelerazione di picco. Questo metodo di definizione degli urti è possibile soltanto quando un laboratorio di prova dispone di un sofisticato sistema di acquisizione e di idonei accelerometri. La registrazione di questi dati migliora la qualità della prova. La severità è ben determinata e la riproducibilità è assicurata.

In questo caso, i parametri di prova devono essere scelti dalla tabella 1-18, dalla tabella 1-19 e dalla tabella 1-20.

Tabella 1-18: Definizione degli urti: forme d'onda preferite

| Forme d'onda preferite |
|-------------------------------|
| Semisinusoidale |
| A dente di sega |
| Trapezoidale |

Tabella 1-19: Definizioni degli urti: durate preferite

| Durate preferite |
|-------------------------|
| ms |
| 6 |
| 11 |
| 20 |
| 30 |
| 40 |
| 50 |
| 70 |
| 100 |

Tabella 1-20: Definizione degli urti: accelerazioni di picco preferite

| Accelerazioni di picco preferite |
|---|
| m/s ² |
| 50 |
| 100 |
| 150 |
| 200 |
| 300 |
| 400 |
| 500 |
| 600 |
| 800 |
| 1000 |
| 1200 |
| 1500 |

La prova d'urto verticale è definita scegliendo un'altezza di caduta (cioè una velocità d'urto) o una durata e un'accelerazione di picco scelte dalle tabelle da 1-17 a 1-20 per il tipo di forma d'onda desiderato (vedere la tabella 1-18).»

CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI

Una volta realizzati alcuni esemplari del prototipo costituito da paglia e bioplastica (Figura 2-1 e Figura 2-2), è stato necessario testarne le caratteristiche fisiche e meccaniche.

Gli esemplari sono stati realizzati da un partner di progetto utilizzando uno stampo precedentemente realizzato, una pressa e un forno a microonde.



Figura 2-1: Prototipo: parti dell'involucro con il calco formato dallo stampo in cui collocare la bottiglia (25,5 cm x 11,5 cm x 4,5 cm)



Figura 2-2: Prototipo: parti combacianti dell'involucro (9 cm)

Le prove sono state eseguite sulla base delle linee guida dettate dalle normative europee descritte nel Capitolo 1.

Tali verifiche sono state eseguite nell'officina del Dipartimento D3A, dove sono stati messi a punto materiali e metodi per verificare la resistenza dell'involucro al passaggio di calore, la resistenza alle vibrazioni e agli urti verticali.

2.1 Condizionamento termico

La prova del condizionamento termico è stata effettuata per monitorare l'inerzia termica del sistema comprendente l'imballaggio e la bottiglia in vetro, seguendo la normativa di riferimento ISO 2233.

Per questo tipo di test è stata utilizzata una stufa a ventilazione forzata, tenuta alla temperatura di 50 °C (Figura 2-3).



Figura 2-3: Stufa a ventilazione forzata

L'imballaggio, contenente la bottiglia piena, è stato inserito all'interno della stufa in posizione verticale.

Per monitorare i parametri di temperatura e umidità abbiamo utilizzato una sonda posizionata tra le due calotte dell'imballaggio, a contatto con la parte esterna della bottiglia; tale sonda è stata collegata ad una scheda Arduino, collegata a sua volta al computer, a cui ha inviato i dati di temperatura e umidità, trascritti in un foglio Excel ad intervalli di un minuto.

La bottiglia in vetro è stata sigillata con un tappo di gomma in cui è stato effettuato un foro, in modo tale da poter monitorare la temperatura del liquido attraverso un apposito sondino; tale monitoraggio è stato effettuato con intervalli inizialmente di dieci minuti e, da metà test in poi, di venti minuti.

2.2 Prove di vibrazione

La normativa che regola questo tipo di prova (ISO 13355) stabilisce che le oscillazioni a cui sottoporre il provino devono variare da 2 a 200 Hz.

Nel nostro caso, il macchinario utilizzato è stato un vibrovaglio circolare che può sviluppare diverse velocità (Figura 2-4).



Figura 2-4: Vibrovaglio circolare

Abbiamo effettuato 4 diverse prove della durata di 30 minuti ciascuna; le velocità scelte sono state 4,5, 5, 5,5 e 6 che corrispondono rispettivamente a vibrazioni di 2, 2,4, 2,65 e 2,9 Hz.

Alla fine di ogni prova abbiamo stabilito, attraverso un esame visivo, se l'imballaggio e la bottiglia di vetro (piena) al suo interno avessero subito danneggiamenti o lesioni.

2.3 Prove d'urto verticale

La normativa che regola questo tipo di prova (ISO 2248) stabilisce che gli urti verticali devono essere causati partendo da distanze che vanno dai 5 cm ai 210 cm da terra.

La struttura utilizzata per effettuare questi test è stata allestita in officina, seguendo le indicazioni della normativa, e comprende una base circolare in marmo con un foro in cui è stato inserito un tubo di acciaio dell'altezza di circa 250 cm; su tale tubo sono stati incisi dei fori distanziati di 5 cm l'uno dall'altro.

Per effettuare ogni caduta abbiamo utilizzato un meccanismo di rilascio posto alla fine di un'asta orizzontale che, per ogni singola prova, veniva inserita nel foro corrispondente all'altezza prestabilita (Figura 2-5). Le prove di caduta sono state ripetute ad altezze diverse (minima 5 cm e massima di 210 cm da terra) e, dopo ogni singola prova, abbiamo stabilito attraverso un esame visivo se l'imballaggio e la bottiglia di vetro (piena) contenuta al suo interno avessero subito danni o lesioni.

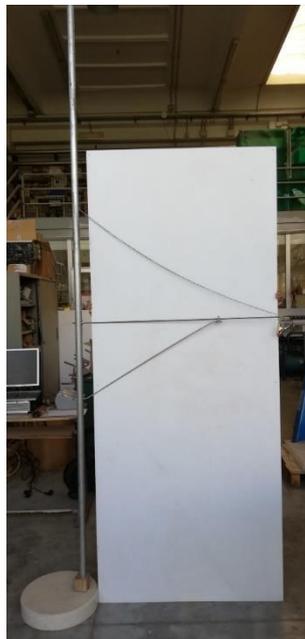


Figura 2-5: Struttura per urti verticali

2.4 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.

Nel nostro caso abbiamo simulato degli urti orizzontali causati dal movimento di un pendolo.

L'attrezzatura utilizzata è stata la stessa delle prove d'urto verticali, quindi la piattaforma circolare con inserito il palo di acciaio; su uno dei fori presenti nel palo abbiamo introdotto un'asta orizzontale con all'estremità una catena rigida che simulasse il moto circolare di un pendolo, una volta agganciato l'imballaggio nell'estremità libera.

Questa struttura è stata costruita in modo tale che l'imballaggio, durante il moto circolare, non ruotasse, che l'involucro urtasse la parete contrapposta in perfetto allineamento orizzontale e con tutta la superficie della faccia.

Abbiamo effettuato 4 prove (una per ogni faccia) con l'imballaggio agganciato alla catena in posizione verticale e 4 prove (una per ogni faccia) con l'imballaggio agganciato alla catena in posizione orizzontale (Figura 2-6 e Figura 2-7); la velocità di impatto in tutti i test è stata di 4,6 m/s.



Figura 2-6: Urto sulla prima faccia



Figura 2-7: Urto sulla seconda faccia

Alla fine di ogni prova abbiamo verificato, attraverso un esame visivo, se l'imballaggio e la bottiglia di vetro (piena) al suo interno avessero subito danni o lesioni.

CAPITOLO 3

RISULTATI

Al termine delle prove condotte i dati sono stati elaborati in tabelle e grafici per meglio evidenziare l'andamento dei fenomeni.

3.1 Condizionamento termico

Il Grafico 3.1 riproduce l'andamento della temperatura interna dell'imballaggio, misurata utilizzando una specifica sonda; nonostante l'aumento costante della temperatura, nella curva si possono notare dei piccoli cali dovuti all'apertura della stufa e successivamente dell'imballaggio, per consentire il monitoraggio della temperatura del liquido.

La temperatura interna dell'imballaggio è passata da 18.20 °C a 40 °C in circa 7 ore.

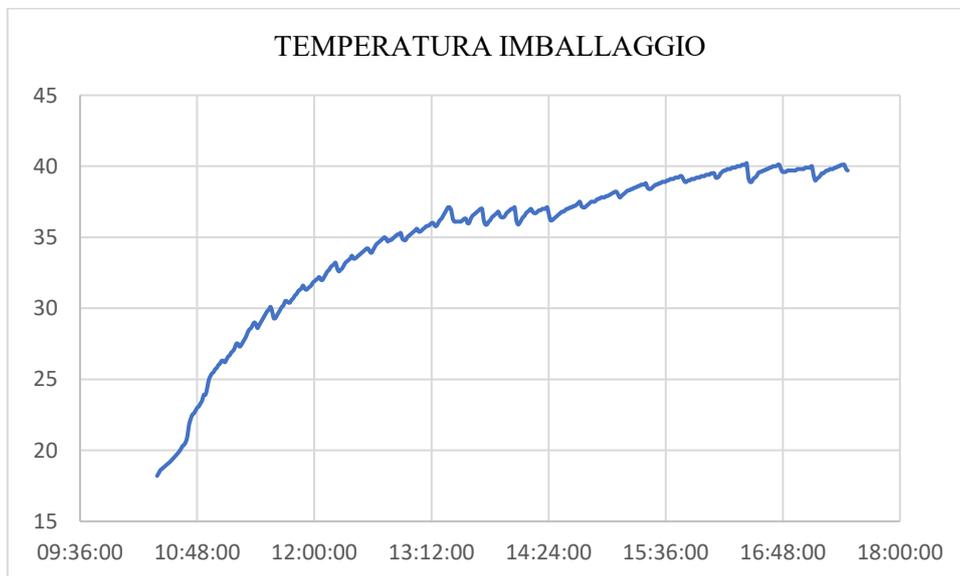


Grafico 3.1 – Andamento della temperatura all'interno dell'involucro dopo 7 ore di permanenza del campione in stufa termostata a 50°C

Il Grafico 3.2 mostra l'andamento dell'umidità rilevata all'interno dell'imballaggio e registrata dall'apposita sonda.

È possibile notare la variabilità di questo dato, con valori che si spostano da poco meno di 50% fino a raggiungere quasi il 100%; questa variabilità può essere causata dalla fuoriuscita di piccole quantità di liquido dal tappo della bottiglia.

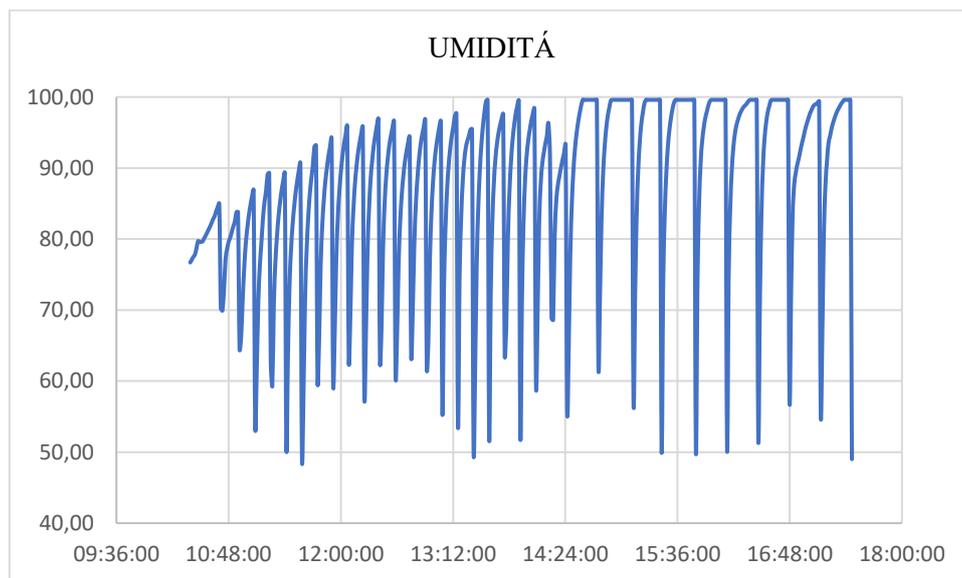


Grafico 3.2 - Andamento dell'umidità all'interno dell'involucro dopo 7 ore di permanenza del campione in stufa termostata a 50°C

Infine, con il Grafico 3.3 si rappresenta l'andamento della temperatura del liquido contenuto all'interno della bottiglia, misurata con l'apposito sondino. Queste misurazioni sono state fatte prima intervalli di dieci minuti e poi ad intervalli di venti minuti.

La curva mostra una crescita costante della temperatura, con un andamento simile alla curva che descrive la temperatura dell'imballaggio; tuttavia, la temperatura del liquido è stata sempre inferiore alla temperatura interna dell'imballaggio.

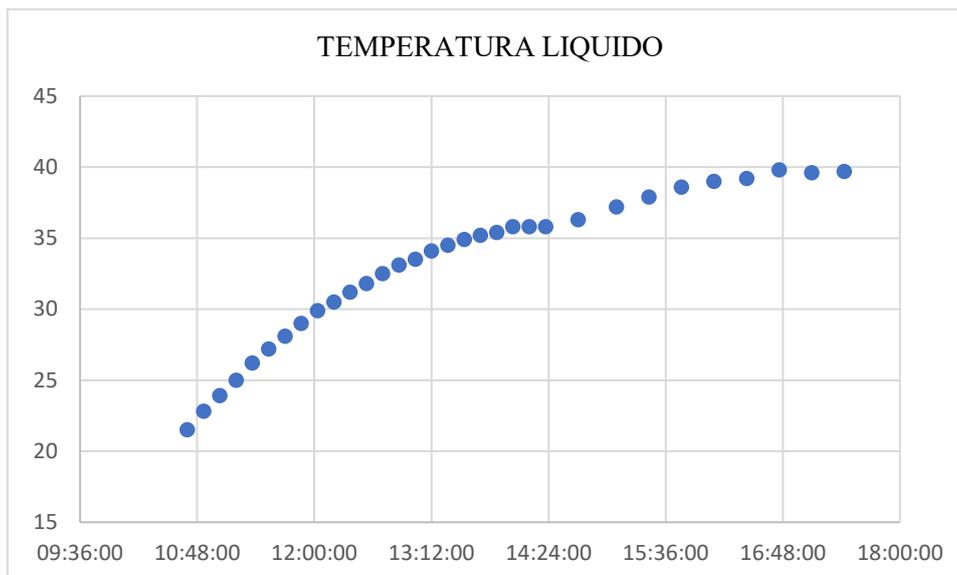


Grafico 3.3 - Andamento dell'umidità all'interno dell'involucro dopo 7 ore di permanenza del campione in stufa termostata a 50°C

I dati a cui fanno riferimento i tre grafici sono riportati nell'Allegato 1 – Tabella del condizionamento.

3.2 Prove di vibrazione

Le sollecitazioni impresse con le vibrazioni hanno permesso di verificare che il packaging resiste sino a vibrazioni pari a 2,9 Hz. I risultati dei test con cui si è passati da sollecitazioni comprese tra 2 e 2,9 Hz sono riassunti in Tabella 3-1.

Tabella 3-1: Risultati delle prove di vibrazione

| VELOCITÀ | Hz | Risultati | | |
|----------|------|-----------|---------|---------------------------------|
| | | DANNI | LESIONI | Note |
| 4,5 | 2 | NO | NO | L'imballaggio è rimasto intatto |
| 5 | 2,4 | NO | NO | L'imballaggio è rimasto intatto |
| 5,5 | 2,65 | NO | NO | L'imballaggio è rimasto intatto |
| 6 | 2,9 | NO | NO | L'imballaggio è rimasto intatto |

Dal resoconto finale è stato possibile accertare che l'imballaggio e la bottiglia al suo interno non hanno subito danni o lesioni a seguito delle vibrazioni a cui sono stati sottoposti e che sono rimasti completamente intatti.

3.3 Prove d'urto verticale

I risultati delle prove, riassunti in Tabella 3-2, permettono di accertare che, sia l'imballaggio che la bottiglia al suo interno, non hanno subito danni o lesioni e che quindi sono rimasti intatti a seguito delle 14 prove.

Tabella 3-2: Risultati delle prove verticali

| ALTEZZE (cm) | DANNI | LESIONI |
|-------------------------|--------------|----------------|
| 5 | NO | NO |
| 10 | NO | NO |
| 15 | NO | NO |
| 20 | NO | NO |
| 30 | NO | NO |
| 40 | NO | NO |
| 50 | NO | NO |
| 60 | NO | NO |
| 80 | NO | NO |
| 100 | NO | NO |
| 120 | NO | NO |
| 150 | NO | NO |
| 180 | NO | NO |
| 210 | NO | NO |

3.4 Prove d'urto orizzontale

I risultati delle prove, riassunti nella Tabella 3-3 e nella Tabella 3-4, permettono di accertare che, sia l'imballaggio che la bottiglia al suo interno, non hanno subito danni o lesioni e che quindi sono rimasti intatti a seguito delle 8 prove.

L'identificazione delle facce è stata fatta in accordo con la normativa ISO 22206 (Figura 1-1).

Tabella 3-3: Risultati delle prove d'urto orizzontali: imballaggio in posizione verticale

| FACCIA | DANNI | LESIONI |
|--------|-------|---------|
| 1 | NO | NO |
| 2 | NO | NO |
| 3 | NO | NO |
| 4 | NO | NO |

Tabella 3-4: Risultati delle prove d'urto orizzontali: imballaggio in posizione orizzontale

| FACCIA | DANNI | LESIONI |
|--------|-------|---------|
| 2 | NO | NO |
| 4 | NO | NO |
| 5 | NO | NO |
| 6 | NO | NO |

3.5 Valutazioni finali

Al termine di questa serie di prove sperimentali è stato possibile svolgere delle valutazioni finali che hanno messo in luce alcuni limiti riguardo questo prototipo di imballaggio.

In primo luogo, è stato possibile constatare che, a seguito delle prove riguardanti gli urti verticali e orizzontali, la struttura esterna dell'imballaggio ha subito delle alterazioni; in particolare, parte della bioplastica si è scollata facendo fuoriuscire parti più o meno grossolane di paglia (Figura 3-1).



Figura 3-1: Paglia fuoriuscita

Dal momento in cui la bioplastica si danneggia, si vanno a distaccare frammenti di paglia che, a lungo andare, possono raggiungere elevate quantità di materiale perso.

Un'ulteriore alterazione della struttura esterna può essere rilevata a seguito della prova di condizionamento; a causa dell'azione del calore della stufa, lo strato di bioplastica esterno si è leggermente assottigliato, passando dall'aspetto opaco ad un aspetto traslucido.

Per quanto riguarda la paglia, quella usata per questo tipo di prototipo è stata tagliata grossolanamente e questo causa delle interruzioni di continuità nella struttura esterna dell'imballaggio, le quali possono dare problemi di compattezza; per risolvere questo tipo di problema potrebbe essere utile utilizzare della paglia macinata.

Inoltre, lo stampo utilizzato per la parte interna dell'imballaggio, ovvero la porzione in cui va posizionata la bottiglia, dovrebbe essere più preciso e fatto su misura rispetto alla bottiglia che si intende imballare; questo per ridurre il più possibile i movimenti della bottiglia stessa una volta posizionata all'interno dell'imballaggio.

Anche lo stampo utilizzato per formare le due calotte dell'imballaggio dovrebbe essere più preciso in modo tale che queste due, una volta unite, combacino in maniera più accurata.

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale di questo progetto è quello di ottenere un prodotto funzionale, ovvero un tipo di imballaggio che sia in grado di salvaguardare l'integrità fisica e le caratteristiche qualitative del prodotto confezionato e allo stesso tempo un prodotto biodegradabile, quindi a minore impatto ambientale e che rispetti l'idea di economia circolare; ossia unire resistenza meccanica e sostenibilità.

L'ostacolo principale è quello di coniugare le caratteristiche fisiche dei materiali di scarto utilizzati con i requisiti richiesti dalle normative comunitarie ed internazionale che regolano questo settore.

Il nostro punto di partenza è stato proprio quello di analizzare tutte le normative riguardanti il settore degli imballaggi, soffermandoci soprattutto sulla normativa UNI EN 13428: 2005, la quale ne specifica i requisiti necessari per la fabbricazione e la composizione.

Una volta prodotto il provino di imballaggio, è stato necessario esaminare la normativa UNI EN ISO 4180, la quale descrive dei programmi di prova di prestazione per verificarne resistenza e compattezza.

Queste prove hanno lo scopo di simulare la catena di trasporto.

Tra i test elencati nel programma di prova, grazie alle strumentazioni presenti nell'officina del Dipartimento D3A, abbiamo potuto eseguire le prove di condizionamento termico, le prove di vibrazione, le prove d'urto verticale e le prove d'urto orizzontale; tutti questi test sono stati realizzati in accordo con le normative di riferimento.

In particolare:

- Nelle prove di condizionamento l'imballaggio e la bottiglia di vetro contenuta al suo interno sono stati portati da temperature di circa 18°C a circa 40°C in un intervallo di tempo di circa 7 ore; queste temperature non hanno causato danni né all'imballaggio né alla bottiglia.
- Nelle prove di vibrazione l'imballaggio e la bottiglia di vetro contenuta al suo interno sono stati sollecitati da vibrazioni di 2, 2,4, 2,65 e 2,9 Hz; queste vibrazioni non hanno causato danni né all'imballaggio né alla bottiglia.

- Nelle prove d'urto verticali l'imballaggio e la bottiglia di vetro contenuta al suo interno sono state fatte cadere da altezze che sono variate da 5 a 210 cm da terra; queste altezze non hanno causato danni né all'imballaggio né alla bottiglia.
- Nelle prove d'urto orizzontali l'imballaggio e la bottiglia di vetro contenuta al suo interno sono stati sottoposti a otto urti orizzontali, uno per ogni faccia, a una velocità di 4,6 m/s; questi urti non hanno causato danni né all'imballaggio né alla bottiglia.

Quindi i risultati delle prove sperimentali hanno evidenziato una buona resistenza dell'imballaggio dal punto di vista fisico e dal punto di vista della protezione del prodotto imballato.

Inoltre, sulla base di tali dati, è possibile ipotizzare una riduzione dello spessore del provino di almeno 1 cm, in modo da ottenere un prodotto meno ingombrante.

Tuttavia, a seguito di questa analisi, sono emersi importanti limiti:

Prima di tutto sarebbe necessario un miglioramento estetico generale dell'imballaggio per rendere tale prodotto più appetibile sul mercato.

Dal punto di vista strutturale è evidente la necessità di utilizzare una paglia maggiormente macinata per ottenere un riempimento più uniforme dello stampo ed evitare quindi delle interruzioni di continuità, le quali potrebbero compromettere la resistenza dell'imballaggio.

Sarebbe opportuno verificare l'utilizzo di bioplastiche più resistenti, in quanto quelle utilizzate per questo provino tendono a staccarsi a seguito delle prove d'urto ed a degradarsi a seguito dell'esposizione ad alte temperature.

Inoltre gli stampi esterni utilizzati dovrebbero essere creati con più precisione in modo tale che le due calotte, una volta unite, risultino perfettamente combacianti, evitando che una delle due scorra sull'altra.

Anche lo stampo interno dovrebbe essere costruito perfettamente su misura rispetto alla bottiglia che si vuole imballare, eludendo eccessivi movimenti di tale bottiglia durante il trasporto.

RINGRAZIAMENTI

In primis vorrei ringraziare la Professoressa Ester Foppa Pedretti e il Professor Daniele Duca per la fiducia e per il grande supporto che mi hanno dato durante la stesura della tesi.

Vorrei ringraziare anche il Dottor Alessio Ilari per il prezioso aiuto durante lo svolgimento delle prove sperimentali.

Il ringraziamento più importante va a mia madre, mio padre e mio fratello per la loro infinita pazienza e per avermi sempre sostenuto in qualsiasi scelta io abbia preso, a loro devo tutto.

Ringrazio il resto della mia famiglia, nonna Merina, zia Roberta, Vanni e le mie cugine Aurora e Vittoria per esserci sempre stati.

Un ringraziamento particolare va anche al mio cane Pancho.

Ringrazio tutti i miei amici, in particolare quelli del Branco e i Bad M*****s, che da sempre alleggeriscono e ravvivano le mie giornate, in particolare i sabati sera; senza di loro tutto questo non sarebbe stato possibile.

Ringrazio tutti i miei compagni di squadra di questi anni con cui ho affrontato mille “battaglie” dentro il campo di calcio il quale, molto spesso, è stato l’unico luogo in cui poter azzerrare tutti i problemi e le preoccupazioni.

Ringrazio alcuni dei miei compagni delle superiori che fortunatamente fanno ancora parte della mia vita, nonostante gli anni passati, in particolare Alessio, Gabriele, Michele, Simone e Sofia.

Ringrazio i colleghi/amici che hanno sempre reso divertente e più leggero il lavoro, il quale è stato un percorso parallelo a quello accademico, anche in quei momenti in cui la pazienza veniva messa a dura prova.

Ringrazio Alessandra che mi ha accompagnato nella maggior parte di questo cammino, per tutto quello che ha fatto per me; nonostante le nostre vite abbiano preso strade diverse, rimarrà sempre una parte importante di me.

Infine, NON ringrazio me stesso per tutte le volte in cui ho rimandato, ho perso la concentrazione o semplicemente non mi sono impegnato abbastanza; allo stesso tempo ci tengo a ringraziare me stesso per avere resistito e per non avere mai mollato, soprattutto nei

momenti più duri; perché è proprio vero che è sull'orlo del precipizio che l'equilibrio è massimo.

Anche questa è fatta! Grazie a tutti.

BIBLIOGRAFIA

- Anon., 1994. *Direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio*. s.l., Parlamento Europeo e Consiglio.
- Anon., 2018. *Direttiva (UE) 2018/852*. s.l., Parlamento Europeo e Consiglio.
- Giuseppe Rossi, L. C. L. F. M. M. M. F. R. M. T. M. B., 2020. A new eco-friendly packaging material made of straw and bioplastic. *Journal of Agricultural Engineering* , pp. 185-191.
- 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 12048 - Imballaggi - Imballaggi di trasporto completi e pieni - Prove di compressione e di accatastamento mediante macchina di prova di compressione*. 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 13432 - Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione - Schema di prova e criteri di valutazione per l'accettazione finale degli imballaggi*. 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, 2002. *UNI EN ISO 2873 - Imballaggi - Imballaggi per il trasporto completi e pieni e carichi unitari - Prova a bassa pressione.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2005. *UNI EN 13427 - Imballaggi - Requisiti per l'utilizzo di norme europee nel campo degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio.* 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, 2005. *UNI EN 13429 - Imballaggi - Riutilizzo.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2005. *UNI EN 13430 - Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili per riciclo di materiali.* s.l., s.n.
- UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2005. *UNI EN 13431 - Imballaggi - Requisiti per imballaggi recuperabili sotto forma di recupero energetico compresa la specifica del potere calorico inferiore minimo.* 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.
- vari, A., 2011. *Imballaggi Requisiti essenziali definiti dalla Direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio.* 1° edizione a cura di Milano: UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- WWF, 2021. *Plastica, il costo per società, ambiente ed economia,* s.l.: s.n.