

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria dei Materiali**

Tesi di Laurea Magistrale

## **Chiusure per il settore spirits & beverage: studio dell'applicabilità industriale di polimeri sostenibili**



### **Relatore**

*firma del relatore (dei relatori)*

prof. Alberto Frache

.....  
.....

### **Candidato**

*firma del candidato*

Lorenzo Pepe

Marzo 2020



## Indice

<b>0. Abstract</b> .....	5
<b>1. Introduzione</b> .....	7
1.1 <i>Guala Closures Group</i> .....	7
1.2 <i>Sostenibilità</i> .....	9
1.3 <i>Sostenibilità in Guala Closures</i> .....	14
<b>2. La sfida sostenibilità</b> .....	17
2.1 <i>Bioplastiche</i> .....	17
2.2 <i>Riciclo delle materie plastiche</i> .....	22
2.3 <i>Le chiusure analizzate</i> .....	26
2.3.1 <i>Spring</i> .....	26
2.3.2 <i>Mars</i> .....	29
2.3.3 <i>Bikini</i> .....	31
2.3.4 <i>Proprietà generali dei materiali usati</i> .....	32
2.4 <i>Metodologia GSTM</i> .....	33
2.4.1 <i>Strumentazione usata</i> .....	33
2.4.2 <i>Prove GSTM</i> .....	36
2.4.3 <i>Programma prove</i> .....	37
<b>3. Risultati</b> .....	39
3.1 <i>Spring Biobased</i> .....	39
3.2 <i>Spring Compostabile</i> .....	43
3.3 <i>Mars Biobased</i> .....	49
3.4 <i>Mars Compostabile</i> .....	56
3.5 <i>Bikini Biobased</i> .....	60
<b>4. Conclusioni</b> .....	69
<b>5. Bibliografia</b> .....	73
<b>Appendice I – Schede tecniche dei materiali usati</b> .....	I
<b>Appendice II – Guala Standard Testing Method</b> .....	VIII
<b>Appendice III – Tabelle dei risultati completi</b> .....	XXIV



## 0. Abstract

Con questo progetto di tesi si è andato ad analizzare il processo che porta alla definizione di una gamma di prodotti sostenibili in un particolare settore del packaging, ovvero quello delle chiusure. Il lavoro si è svolto presso un'azienda leader di quest'area di produzione, il Guala Closures Group, multinazionale con sede principale presso Alessandria, e presente in tutto il mondo con più di trenta impianti e cinque centri di ricerca e sviluppo. Dato un range di prodotti esistenti, l'obiettivo di questa tesi è valutare l'efficacia della sostituzione dei materiali tradizionali con una gamma di biopolimeri, con fine l'ottenimento di un portfolio di chiusure sostenibili. Parte del processo è stata la definizione di cosa si intende per chiusura sostenibile, concludendo che attualmente non esiste un modo univoco e completo per rispondere a questo interrogativo. Infatti, sono state delineate diverse "strade" percorribili per conseguire l'obiettivo posto, ognuna incentrata su diverse necessità. Alcune di queste strade sono state prese come riferimento nel modificare i prodotti in analisi. La procedura sperimentale è quella applicata internamente all'azienda, che prevede lo stampaggio dei componenti, il loro assemblaggio, ed infine i test atti a verificare il corretto funzionamento dei prodotti.

L'elaborato è strutturato su cinque capitoli e tre appendici. Nel primo, di introduzione, viene presentata l'azienda in cui si è svolto il progetto, quindi viene delineato il concetto di sostenibilità e come questa viene affrontata da Guala Closures, con particolare riferimento alle strade individuate per la concezione di chiusure sostenibili. Nel secondo capitolo vengono presentati i principali tipi di biopolimeri e sono descritti i processi di riciclo tipici a cui va incontro la plastica. In questo capitolo vengono anche presentati i prodotti in studio, analizzando in dettaglio i processi produttivi e le modifiche che verranno eseguite, con riferimento al loro inserimento nelle già menzionate strade per le chiusure sostenibili. In chiusura del capitolo 2 vengono descritti i test applicati internamente all'azienda, indicando le prove eseguite per ogni progetto. Maggiori dettagli sui materiali testati e la descrizione completa delle prove sono riportati rispettivamente in Appendice I e in Appendice II. I risultati ottenuti vengono presentati nel capitolo 3, analizzando gli esiti di ogni prova e delineando gli step successivi ad ogni test. Le tabelle complete dei dati ottenuti vengono riportate in Appendice III. Infine, nel capitolo 4 sono tratte le conclusioni relative a quanto ottenuto. L'elenco bibliografico è riportato nel capitolo 5.



## 1. Introduzione

In questo capitolo viene presentata l'azienda in cui si è svolto il lavoro di tesi, accennando alla gamma di prodotti proposta, passando poi alla descrizione di alcuni concetti fondamentali, ovvero quello di sostenibilità e di economia circolare, e di come questi vengano affrontati dall'azienda stessa.

### 1.1 Guala Closures Group

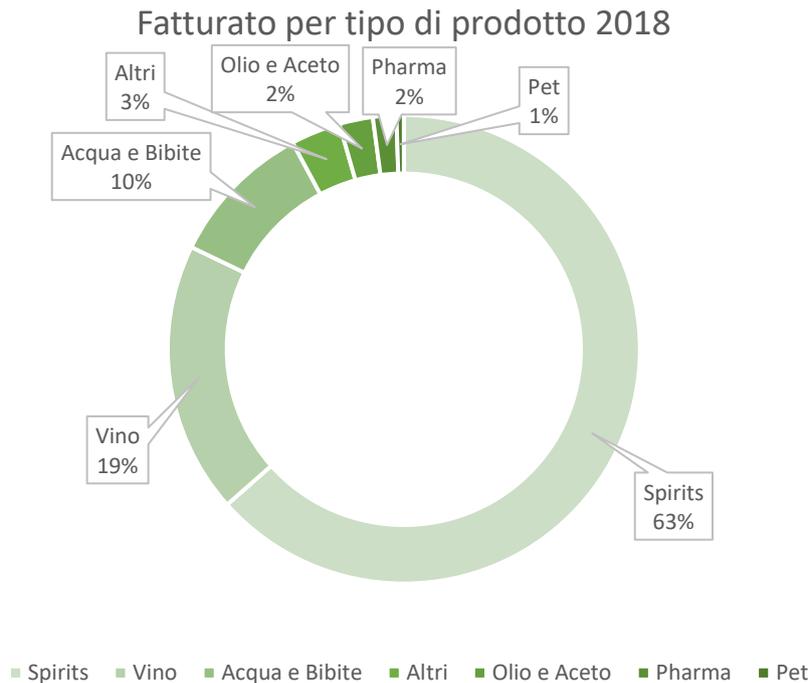
Nel 1954 venne fondata Guala, azienda produttrice di manufatti in plastica. Dal 1960 l'azienda inizia a brevettare le prime chiusure anticontraffazione, inserendosi nel mercato degli alcolici. Dopo una crescita in vari settori, come confezioni rigide e imballaggi flessibili, nasce nel 1998 la divisione Guala Closures, specializzata nella produzione di chiusure e sponsorizzata da investitori privati. Da allora il Guala Closures Group crebbe a livello internazionale, espandendosi con stabilimenti e centri di ricerca in tutto il mondo, affermandosi come leader mondiale nella produzione di chiusure anticontraffazione<sup>[2]</sup>.

I prodotti sviluppati all'interno di Guala Closures Group possono essere raggruppati in sei categorie: Spirits, Vino, Acqua e Bibite, Olio e Aceto, Pharma e PET. In figura 1.1 è possibile vedere alcuni esempi dei prodotti Guala Closures.



**Figura 1.1:** Esempi di alcune chiusure prodotte da Guala Closures

Il settore dei superalcolici copre il 63,4% del fatturato totale, seguito dalle chiusure per vino che coprono il 18,7%, mentre acqua e bibite coprono il 10%. In figura 1.2 è possibile vedere il fatturato relativo ad ogni tipologia di prodotto.



**Figura 1.2:** Fatturato per tipo di prodotto 2018<sup>[2]</sup>

A seconda del tipo di liquido, della gamma del prodotto e del mercato di vendita, le chiusure presentano diversi componenti e materiali. Una peculiarità di tutte le chiusure è il sistema anticounterfeiting, ovvero un insieme di funzionalità applicate al packaging per combattere la falsificazione degli alcolici. Per quanto possa sembrare insolito, il contrabbando e l'inserimento di alcolici falsati è una realtà molto diffusa che affligge diversi paesi in tutto il mondo, recando danni all'economia, mettendo a rischio la salute delle persone e causando la morte di decine di migliaia di persone ogni anno<sup>[2]</sup>. A livello economico, si stima che il valore di alcolici contraffatti prodotti nel mondo sia di un miliardo di euro, con un inserimento del 12% nel mercato globale. Si stima inoltre che in Russia muoiono ogni anno circa 43000 persone in seguito all'utilizzo di alcolici contraffatti e illegali<sup>[3]</sup>. I danni alla salute sono causati da elementi che vengono inseriti negli alcolici contraffatti, come metanolo, formaldeide e glicole etilenico<sup>[3]</sup>. Già da questi dati è possibile comprendere quanto sia importante creare dei sistemi che impediscano il più possibile la produzione di manufatti falsati. I due meccanismi usati sono il "tamper evident" (TE) e i sistemi anti-riempimento. Il primo è un segno che indica che la bottiglia è già stata aperta, un esempio classico è l'anello di plastica che resta sul collo delle bottiglie d'acqua dopo l'apertura, mentre il secondo è un dato da un sistema di valvole che impediscono o rallentano il riempimento di una bottiglia, infatti uno dei metodi più usati per la contraffazione è il rabbocco delle bottiglie.

Per garantire queste funzionalità, si usano da due a nove componenti per la realizzazione di una chiusura, solitamente con materiali diversi. In figura 1.3 è possibile vedere degli esplosi con presenti i diversi tipi di componente usati. Nell'ambito di questa tesi, vengono studiate due chiusure con sistema TE e una chiusura che non presenta sistemi di sicurezza in quanto, essendo in una fase preliminare di studio, si è preferito lavorare su prodotti meno complessi, con un numero limitato di componenti. Tali prodotti verranno presentati in dettaglio nel capitolo 2.



Figura 1.3: Esplosi delle chiusure safety<sup>[2]</sup>

## 1.2 Sostenibilità

*“Sostenibilità: nelle scienze ambientali ed economiche, condizione di uno sviluppo in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri”<sup>[4][5]</sup>.*

Con il rapporto Brundtland, nel 1987 venne data la prima definizione di sostenibilità, o meglio, di sviluppo sostenibile. Tuttavia, dopo più di trent'anni dalla formulazione di questo concetto, in un momento in cui il tema è particolarmente discusso e affrontato nei più disparati settori industriali, si riscontra parecchia confusione. Nell'ambito di questa tesi, sono numerosi gli incontri, sia con clienti che fornitori di materie plastiche, in cui si è discusso di sostenibilità e prodotti sostenibili, ed ogni volta il concetto di sviluppo sostenibile prende una declinazione diversa: per alcuni si tratta di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, per altri si tratta di evitare l'utilizzo di materie plastiche, per altri ancora si tratta di sviluppare prodotti “bio” (prefisso dai così mutevoli significati ed interpretazioni da portare inevitabilmente a fraintendimenti). La mancanza di univocità nella soluzione ad un problema genera confusione, mette in discussione il lavoro svolto, portando spesso alla domanda “è davvero la cosa giusta?”.

Questa confusione, la molteplicità di strade percorribili per sviluppare prodotti “sostenibili”, strade che sembrano contemporaneamente corrette e sbagliate, è l'inevitabile risultato di quanto è implicato nella stessa definizione di sostenibilità. Infatti, come sottolineato nel rapporto Brundtland, lo sviluppo sostenibile non è legato solo ad un aspetto di avanzamento tecnologico, ma è strettamente ed indissolubilmente legato a fattori ambientali e sociali. Appena sotto la definizione di sviluppo sostenibile viene sottolineato come questo richieda il “soddisfacimento delle necessità di base di tutti e l'estensione a tutti dell'opportunità di adempiere alle proprie aspirazioni ad una vita migliore. Un mondo in cui la povertà è endemica sarà sempre pronò a catastrofi ecologiche ed altre”<sup>[5]</sup>. Più volte si riprende il concetto di uguaglianza, di come questa sia raggiungibile solo tramite un uso responsabile delle risorse da parte di chi ne ha accesso, condividendole in modo equo con chi invece non può permetterselo.

Questo è un obiettivo raggiungibile solo tramite sistemi politici, collaborazioni estese e durature tra i diversi governi in tutto il mondo. In particolare, viene spiegato nel dettaglio il modo in cui ambiente, risorse, sia materiali che umane, e lo sviluppo, sia economico che tecnologico, siano interconnessi. Implicare tutte queste variabili in un unico processo è complicato, specialmente considerando gli aspetti etici e morali che dovrebbero essere inclusi per poter rispettare completamente quanto previsto dal rapporto Brundtland e l'accordo di Parigi. Sono numerose le interpretazioni che le realtà politiche ed industriali propongono nei piani di sostenibilità. Elencarle e motivarle tutte non è semplice ed esenta dal compito di questa tesi, tuttavia per meglio comprendere il contesto progettuale verranno analizzati gli aspetti legati ai prodotti Guala Closures, partendo dalle richieste ricevute dai clienti, motivandole ed infine spiegando la linea di pensiero proposta dal gruppo di ricerca per i prodotti e le iniziative già operanti all'interno del gruppo.

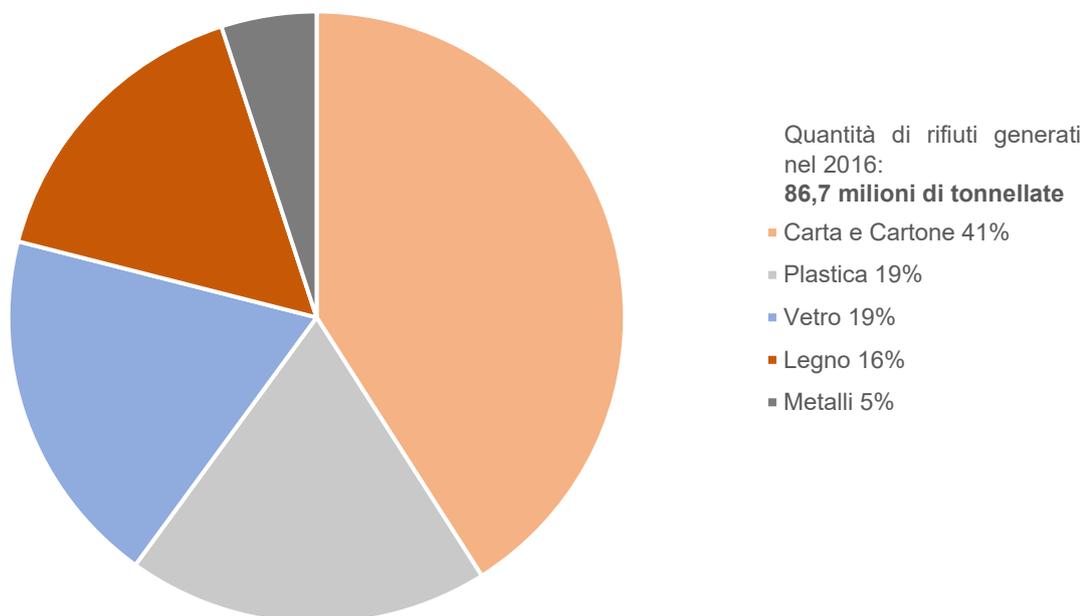
Come precedentemente accennato, spesso i clienti richiedono che le nuove chiusure siano riciclabili, compostabili, che siano prodotte riducendo le emissioni di anidride carbonica e/o eliminando quanto possibile l'uso di materiali polimerici. Queste richieste provengono da singoli marchi, o più spesso da multinazionali produttrici e distributrici di alcolici e superalcolici come Pernod-Ricard e Diageo. Tali gruppi detengono diversi marchi noti in tutto il mondo, ad esempio lo Champagne Perrier Jouet, il cognac Martell e la vodka Absolut sono parte del primo, mentre la birra Guinness, il whisky Johnnie Walker, scotch Talisker ed il gin Tanqueray sono parte del secondo. Entrambi i gruppi, così come altri competitor, propongono strategie per lo sviluppo sostenibile coinvolgenti consumo di acqua, emissioni di CO<sub>2</sub>, uso di packaging sostenibili ed iniziative in ambito sociale. In tabella 1.1 sono riportati alcuni dati relativi ai gruppi ed alle iniziative proposte in ambito di sviluppo sostenibile dichiarati dalle aziende stessa nei propri report annuali, in particolare si riportano alcuni esempi di brand noti detenuti dalle aziende, il fatturato riportato nei report, in euro per il gruppo Pernod-Ricard e in sterline per Diageo, la proposta di riduzione del consumo di acqua utilizzata per la produzione nell'intera supply chain e la proposta di riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente complessive da parte delle aziende rispetto all'anno di partenza delle iniziative. Come riportato nei report annuali, tali iniziative sono in linea con le direttive europee e gli obiettivi delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile.

**Tabella 1.1** - Dati relativi ai gruppi Pernod-Ricard<sup>[6]</sup> e Diageo<sup>[7]</sup>

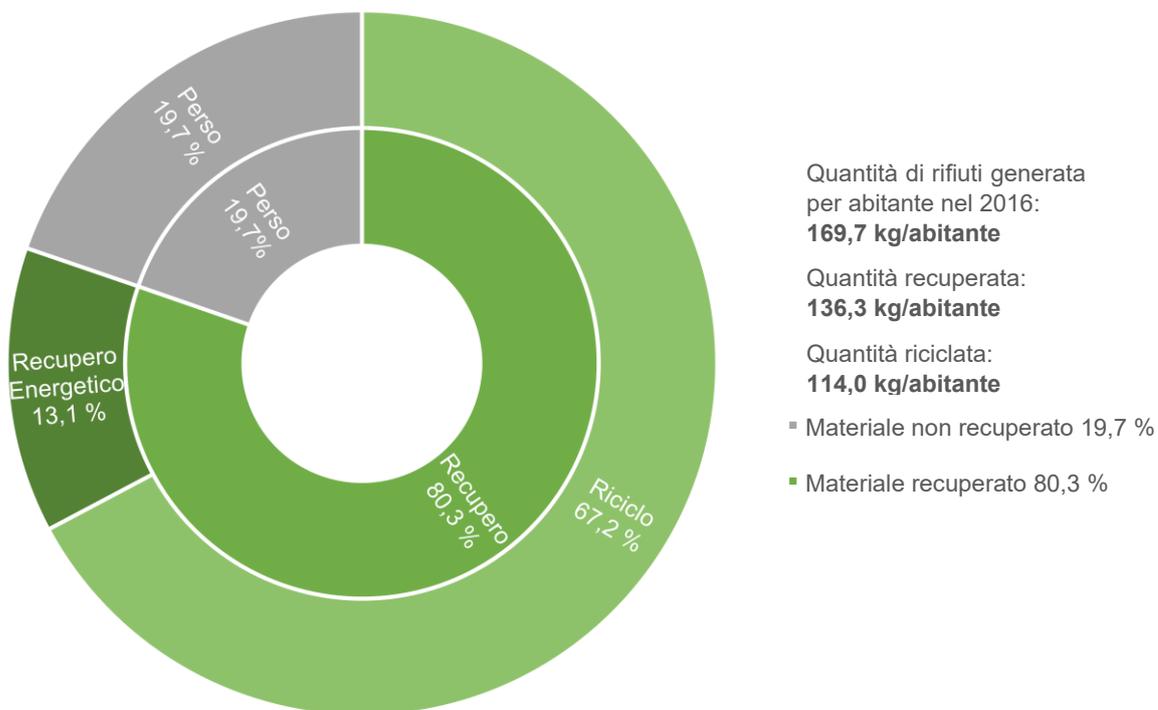
GRUPPO	ESEMPI BRAND	FATTURATO	RIDUZIONE CONSUMO ACQUA PROPOSTO/OTTENUTO	RIDUZIONE EMISSIONI CO <sub>2</sub> PROPOSTO/OTTENUTO
<b>Pernod-Ricard</b>	Absolut, Martell, Ballantine's	9182 M €	Riduzione del 20% entro il 2020 / raggiunto 22%	Riduzione del 30% entro il 2020 / raggiunto il 33,8%
<b>Diageo</b>	Guinness, Talisker, Johnny Walker	12867 M £	Aumento dell'efficienza del 50% / raggiunto 43,8%	Riduzione del 30% entro il 2020 / raggiunto il 44,7 %

Le due aziende nominate, così come parecchie altre aziende nei più disparati settori, nei propri piani per lo sviluppo sostenibile includono la riprogettazione dei propri packaging, dai contenitori utilizzati per la logistica a quelli destinati per il prodotto finito, quest'ultimo settore in cui si inserisce Guala Closures. Questo è dovuto alla grande quantità di risorse utilizzate nel packaging: nei 28 stati membri dell'Unione Europea, più Lichtenstein, Norvegia e Islanda nel 2016 sono stati prodotti 86,7 milioni di tonnellate di rifiuti da packaging. Andando ad analizzare per classe di materiale, il 41% di questi sono carta e cartone, il 19% plastica, il 19% vetro, il 16% legno ed il 5% materiali metallici, ovvero acciaio ed alluminio<sup>[8]</sup>. Complessivamente, di questi rifiuti ne viene recuperato l'80,3% e ne viene riciclato il 67,2%<sup>[8]</sup>. È importante notare che per materiale riciclato si intende materiale andato incontro a processi di rilavorazione e altre forme di riciclo come il riciclo organico, mentre nel materiale recuperato si includono anche i processi di recupero energetico. In figura 1.4 vengono riportati i dati relativi alla ripartizione per

classe di materiale, in figura 1.5 vengono riportati i dati relativi alla generazione di rifiuti, recupero e riciclo in kg per abitante.



**Figura 1.4:** - Dati relativi alla generazione di rifiuti da packaging, totale in milioni di tonnellate, ripartizione in percentuale<sup>[8]</sup>.



**Figura 1.5** Quantità di rifiuti generati per abitante nel 2016 e percentuali di recupero e riciclo<sup>[8]</sup>.

Come accennato, le iniziative relative alla riprogettazione del packaging sono riconducibili a rendere le confezioni riusabili, riciclabili oppure compostabili, ovvero vengono inserite in un contesto di Economia Circolare. Con economia circolare si intende quel modello di produzione e consumo il cui obiettivo è quello di estendere il più possibile la vita di un prodotto, evitando la generazione di rifiuti, reintroducendo i materiali nei cicli economici dandogli nuovo valore<sup>[9]</sup>. La Ellen MacArthur Foundation, fondazione di riferimento per diversi clienti di Guala Closures per il conseguimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, pone come principi di base una progettazione mirata all'eliminazione dell'inquinamento, mantenimento di prodotti e materiali in uso e rigenerazione di sistemi naturali<sup>[10]</sup>. Tali iniziative nascono talvolta dall'applicazione delle leggi approvate dal Parlamento europeo (come la legge relativa al divieto di utilizzo di plastiche usa e getta), talvolta dalla diretta interpretazione degli obiettivi identificati dalle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile: infatti, a seguito del summit tenutosi nel 2015 atto a delineare un'Agenda per il decennio 2020-2030, i 193 stati membri delle nazioni unite hanno identificato 17 obiettivi generali, affiliati a 169 target. Sulla base di questi obiettivi la commissione europea nel 2016 a sua volta ha stilato le tappe tramite cui raggiungere tali obiettivi e come implementarli all'interno dell'Unione Europea. Tra i 17 obiettivi generali, due di questi (8 e 12) fanno riferimento all'industria sostenibile:

Obiettivo 8. Incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva ed un lavoro dignitoso per tutti

Obiettivo 12. Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo<sup>[11]</sup>

In tale contesto, i modelli di economia circolare si inseriscono perseguendo contemporaneamente più obiettivi: partendo dall'obiettivo 12, secondo quanto riportato dalla Ellen MacArthur Foundation, gli obiettivi toccati applicando metodi di economia circolare sarebbero in totale 12<sup>[12]</sup>. Infatti, applicando questo modello, si riduce la dipendenza da risorse naturali non rinnovabili, preservandole, si vanno a ridurre le emissioni di gas serra, contrastando il cambiamento climatico, si generano nuove possibilità di business e con esse nuove opportunità di lavoro ed occasioni di integrazione sociale<sup>[12], [13]</sup>. Il modello di economia circolare inoltre è nei piani per lo sviluppo sostenibile dell'Unione Europea inserendosi come fulcro e base per la salvaguardia delle risorse e come mezzo di contrasto decisivo nella lotta al cambiamento climatico, sottolineando come ricerca, innovazione e politiche di sensibilizzazione giochino un ruolo chiave nell'intero processo<sup>[14], [15]</sup>.

Uno degli argomenti chiave che viene coinvolto, sia direttamente che indirettamente dalle realtà governative, sociali ed industriali, è quello relativo al consumo di materie plastiche, il loro ruolo nel modello di economia circolare e sull'impatto che questi materiali hanno sull'ambiente, ovvero quello che volgarmente si può definire come "il problema plastica". Al momento di stesura di questa tesi, tale argomento è ampiamente dibattuto, spesso in modo superficiale ed incompleto, frequentemente la plastica è demonizzata, dimenticando delle proprietà positive di cui tale materiale è dotato. I materiali polimerici godono di numerose qualità: essendo materiali leggeri permettono di ridurre consumi ed emissioni dei mezzi di trasporto, grazie alle proprietà barriera permettono di conservare bevande e alimenti in sicurezza riducendo i rifiuti alimentari, possono essere lavorati nei modi più diversi in modo da essere applicati nei più disparati settori. Tuttavia, per via dei metodi con cui vengono prodotti, usati e smaltiti, il loro impatto sull'ambiente diventa sempre più evidente e preoccupante.

Infatti, tradizionalmente i materiali polimerici vengono prodotti a partire da fonti non rinnovabili come gas naturali e petrolio, ergo già di base non rispettano la definizione stessa di sviluppo sostenibile. Nonostante i polimeri siano una valida soluzione per ridurre le emissioni di anidride carbonica quando utilizzati in sostituzione ad altre classi di materiali, a seconda del tipo di polimero sintetizzato viene comunque emessa una data quantità di CO<sub>2</sub>. In un contesto di sviluppo sostenibile è quindi controverso l'uso di questi materiali, fermarsi a valutazioni superficiali nel processo di selezione di un materiale può portare a risultati inattesi. Andando ad effettuare un Life Cycle Assessment (LCA), ovvero uno studio accurato sull'intero ciclo di vita di un prodotto lungo tutta la supply chain, potrebbe risultare erroneo rimuovere la plastica da un prodotto, così come implementarla in altri oggetti potrebbe essere controproducente. Fermandosi all'inizio del ciclo di vita di un polimero, è indiscutibile che le risorse tradizionalmente usate debbano essere sostituite per andare incontro ai principi dello sviluppo sostenibile. Mentre dal punto di vista delle emissioni di anidride carbonica, quindi dei danni causati all'ambiente per via dell'accumulo di gas serra nell'atmosfera, studi più complessi e dettagliati sono necessari per stabilire gli effetti dell'utilizzo di un materiale polimerico anziché un'altra classe di materiali.

I danni maggiori causati dalla plastica vengono causati alla fine del ciclo di vita, ovvero durante le fasi di smaltimento (ed in alcuni casi anche durante il normale utilizzo). Nel 2017 nel mondo sono state prodotte 348 milioni di tonnellate di plastica, di cui 64,4 in Europa<sup>[17]</sup>. La quantità richiesta dai convertitori europei (stati membri dell'unione Europea più Norvegia, e Svizzera) è di 51,2 milioni di tonnellate, ripartite in diversi settori, tra cui il packaging. Sempre nell'area Europea, nel 2016 sono state raccolte 27,1 milioni di tonnellate di rifiuti in plastica provenienti dalla raccolta post consumo, di queste il 41,6% sono state utilizzate per produrre energia, il 31,1% sono state riciclate mentre il restante 27,3% è finito in discarica<sup>[17]</sup>. È importante notare che diversi prodotti hanno cicli di vita diversi, ovvero alcuni oggetti hanno una vita limitata a pochi mesi (come capita per il food packaging), altri invece sono in funzione per diversi anni (come capita per i componenti nel settore automotive), quindi dati di plastica prodotta in un anno e quella raccolta non corrispondono. Inoltre, si deve tenere in conto che una certa quantità di plastica non viene raccolta, ma viene dispersa nell'ambiente. L'efficienza dei sistemi di raccolta e di riciclo è aumentata notevolmente negli anni: dal 2006 al 2016 la quantità di rifiuti plastici raccolti è aumentata del 11%, la quantità destinata al riciclo è aumentata del 79%, quella al recupero energetico del 61%, mentre la quantità destinata alle discariche è diminuita del 43%<sup>[17]</sup>. Questo aumento di efficienza è un dato positivo, tuttavia non è sufficiente sotto diversi aspetti: bruciando i rifiuti plastici viene emessa anidride carbonica, secondo le stime sommando produzione di plastica ed incenerimento dei rifiuti vengono generate 400 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> l'anno<sup>[16]</sup>. L'incenerimento non è solo uno spreco di risorse (secondo le stime, riciclando tutti i rifiuti plastici nel mondo si risparmierebbero 3,5 miliardi di barili di petrolio<sup>[16]</sup>), ma un danno all'ambiente per via della grande quantità di gas serra emessa (trascurando gli altri elementi nocivi che derivano dai processi di combustione). Si devono inoltre considerare i danni causati dai rifiuti plastici che invece non vengono raccolti, ma vengono dispersi nell'ambiente: a livello mondiale finiscono negli oceani tra 5 e 13 milioni di tonnellate di plastica<sup>[16]</sup>, che si accumulano nei gyre oceanici, con danni gravissimi agli ecosistemi marini. Nell'UE la quantità di plastica che finisce negli oceani è compresa tra 150000 e 500000 tonnellate, una percentuale ridotta rispetto al totale mondiale, ma accumulandosi nel Mar Mediterraneo e nel Mar Glaciale Artico con densità analoga alle isole di plastica oceaniche, i danni a fauna e flora, con conseguenti danni economici a settori come turismo e pesca, sono gravi. Altro danno causato dalle plastiche disperse nell'ambiente è dovuto alla loro frammentazione in microplastiche, ovvero particolati di dimensione inferiore ai 5 mm, facilmente ingeribile dalla fauna marina inserendosi così nella catena alimentare. Il flusso di microplastiche nei sistemi idrologici non è generato solamente da oggetti in plastica dispersi, ma anche da attività quotidiane come il lavaggio di capi sintetici in lavatrice: per via degli impatti dei vestiti sulle pareti del cestello le fibre si spezzano in minuscoli frammenti, che sono poi convogliati nel flusso delle acque di scarico. Si trovano tracce di microplastiche in aria, acqua potabile, ed alimenti come sale e miele<sup>[16]</sup>. Si stima che soltanto in Europa sono disperse annualmente tra le 75000 e le 300000 tonnellate di microplastica nell'ambiente, non sono però noti gli effetti sulla salute umana.

Risolvere contemporaneamente i tre problemi dovuti all'uso delle materie plastiche è tutt'altro che banale, tuttavia i metodi di economia circolare si presentano come una valida soluzione. Particolare attenzione viene data al settore del packaging, infatti delle 27,1 milioni di tonnellate di rifiuti polimerici raccolti, circa 16,7 (ovvero più del 60%) provengono da imballaggi. Sono numerose le iniziative atte a rivedere il modo in cui si progetta ed usa il packaging plastico, uno dei principali enti a guida di questo processo di cambiamento è la già citata Ellen MacArthur Foundation. Questa riassume in sei punti i principi cardine con cui si dovrebbe progettare il packaging nell'ottica dell'economia circolare, traducendo anche quanto proposto dalle Nazioni Unite e dalla Commissione Europea. Tali punti sono:

1. Eliminazione del packaging plastica non necessario o problematico tramite re-design, innovazione e nuovi modelli di esecuzione;
2. Modelli di riutilizzo sono applicati dove rilevante, riducendo la necessità di packaging ad uso singolo;
3. Tutto il packaging in plastica è al 100% riutilizzabile, riciclabile o compostabile;
4. Tutto il packaging in plastica è effettivamente riutilizzato, riciclato o compostato;
5. L'uso della plastica è del tutto disaccoppiato dal consumo di risorse finite;
6. Tutto il packaging in plastica è privo sostanze chimiche pericolose, e la salute, la sicurezza e i diritti delle persone sono coinvolti e rispettati.

Per quanto ci sia spazio di interpretazione di questi punti, perseguibili diversamente a seconda del tipo di prodotto, gli obiettivi posti all'atto pratico sono inequivocabili. Sono quasi 200 le aziende che hanno

preso impegno con la fondazione, di cui 123 sono utilizzatori, fornitori o produttori di packaging. Tra questi, anche i già citati clienti di Guala Closures Pernod-Ricard e Diageo hanno firmato il commitment, ponendo ambiziosi obiettivi da conseguire entro il 31 dicembre 2025<sup>[18]</sup>. Gli obiettivi per le aziende utilizzatrici di packaging, ovvero produttori beni imballati, sono quattro e sono comuni a tutte quante:

1. Agire per eliminare tutti gli imballaggi non necessari o problematici entro il 2025;
2. Agire per passare a modelli di riutilizzo dove rilevante entro il 2025;
3. 100% del packaging in plastica sarà riutilizzabile, riciclabile o compostabile entro il 2025;
4. Porre un target ambizioso per il 2025 sul contenuto di plastica da riciclo post consumo tra tutto il packaging utilizzato.

Come esempio, in tabella 1.2 sono riportate alcune delle azioni eseguite o in programma prese dalle due multinazionali già citate.

**Tabella 1.2** - Esempi di alcuni degli impegni presi da parte di Diageo e Pernod-Ricard<sup>[18]</sup>.

	Obiettivo 1	Obiettivo 2	Obiettivo 3	Obiettivo 4
Diageo	Eliminate cannucce e bottigliette ad uso singolo, così come piatti di plastica e posate.	Si investirà in modelli di economia circolare, esplorando modelli di riutilizzo.	In seguito ad uno screening, si riscontra che la plastica più usata è il PET.	40% entro 2030, con focus su PET.
Pernod-Ricard	Dal 2018 eliminate le cannucce da tutti gli eventi del gruppo, creata task-force per il packaging sostenibile.	Dal 2016 ridotti i pesi dei packaging usati.	Obiettivo di 100% del packaging primario riciclabile	25% di PET riciclato, 50% di vetro riciclato nelle bottiglie.

### 1.3 Sostenibilità in Guala Closures

Anche se Guala Closures Group non è firmatario del Global Commitment della Ellen MacArthur Foundation, si può evincere che è comunque coinvolto nei processi di cambiamento, sia in qualità di fornitore che di sviluppatore di nuove tecnologie.

Sono diversi anni che il gruppo si impegna ad investire in soluzioni sostenibili nei processi e nei prodotti, adottando diverse soluzioni per ridurre le emissioni di anidride carbonica, i consumi energetici e gli sprechi. I report sulla sostenibilità dell'azienda vengono pubblicati annualmente dal 2011, il programma attualmente in corso è partito nel 2016, con termine nel 2022. Si basa su tre principi cardine, ovvero preservare il pianeta sviluppare tutte le condizioni per garantire il benessere dei dipendenti ed assicurare la soddisfazione del cliente. Questi si sviluppano su 12 parametri (come emissioni di CO<sub>2</sub>, consumi energetici, sicurezza e salute, innovazione, materie prime), tradotti a loro volta in 21 obiettivi. Ad esempio, riduzione del consumo energetico per prodotto finito del 25%, ridurre le emissioni di anidride carbonica del 25% e ridurre la frequenza di incidenti sul lavoro del 50%. Tali obiettivi sono perseguiti con diversi metodi, per esempio in impianti selezionati vengono installati sistemi per produrre energia rinnovabile (nel 2019 è stato avviato un sistema di trigenerazione per l'impianto di Spinetta Marengo), mentre per ridurre le emissioni indirette di anidride carbonica l'azienda compra crediti di carbonio e partecipa a programmi di riforestazione, spesso nei paesi in cui il gruppo opera (dal 2011 sono stati piantati più di 300000 alberi, nel 2018 è iniziato un programma di tre anni in Yucatan per piantare un totale di 100000 alberi). Riguardo le materie prime, il contenuto di alluminio riciclato usato nel 2018 ha raggiunto il 57%, inoltre grazie ai metodi di eco-design gli scarti derivanti dalla produzione vengono costantemente ridotti, portando anche un vantaggio economico.

L'argomento chiusure sostenibili non è completamente nuovo per il Gruppo Guala Closures, infatti sono diversi anni che vengono testati nuovi materiali progettati in un contesto di economia circolare, così come vengono testate nuove soluzioni tecnologiche: ad esempio, è stata sviluppata una chiusura quasi completamente in alluminio facilmente rimovibile a fine uso, così da poterla smaltire correttamente nei

rifiuti. Inoltre, a luglio 2019 si è concluso ECIPOL, un progetto regionale coinvolgente diverse aziende piemontesi atto a studiare applicazioni di utilizzo degli scarti della produzione agricola locale in diversi settori industriali, tra cui il caso del food packaging.

In seguito a quest'ultima esperienza, durante la quale sono stati numerosi gli incontri in cui si sono analizzate le problematiche relative allo sviluppo di prodotti sostenibili, il team di ricerca dell'azienda ha delineato cinque possibili strade percorribili per riformulare e riprogettare le chiusure, partendo dai materiali utilizzati. Le linee guida che hanno portato a questi percorsi sono molteplici, per questo le soluzioni proposte sono numerose. Le principali difficoltà riscontrate sono legate ai metodi di riciclo: infatti, dal confronto con diverse realtà di raccolta e smaltimento di rifiuti (in primis con il Coreve ed il Cial) è emerso che tendenzialmente le chiusure vengono smaltite nella linea di raccolta del vetro. Questo fattore porta a diversi dubbi su come debba essere modificata la chiusura, poiché, secondo quanto scoperto, la chiusura non viene riciclata, ma è destinata a discariche o termovalorizzazione, con il rischio di vanificare gli sforzi fatti per sviluppare un prodotto sostenibile. Questo inconveniente non è motivo di scoraggiamento, bensì uno stimolo per trovare soluzioni di carattere completamente diverso, portando ad una gamma diversificata di prodotti. In particolare, le strade identificate sono schematizzabili come segue:

1. Re-Use;
2. Recycle;
3. Consume Less;
4. Use Less;
5. Biodegrade.

**Re-use:** questa strada è quella che più di tutte va incontro alle proposte per l'economia circolare, ovvero progettare il prodotto in modo che possa essere riutilizzato, allungandone la vita utile quanto più possibile, evitando di generare nuovi rifiuti. La stessa Ellen MacArthur Foundation mette come seconda priorità nella progettazione del packaging in plastica l'applicazione di modelli di riuso, riducendo così la necessità di plastica ad uso singolo<sup>[19]</sup>. Tuttavia, rendere la chiusura riutilizzabile comprometterebbe una delle funzioni base garantite da Guala Closures, ovvero la sicurezza anticontraffazione. Nell'ipotesi di rendere il prodotto riutilizzabile sono stati identificati due scenari: sistema del vuoto a rendere (ovvero sistema che prevede la raccolta del contenitore e riutilizzo da parte del produttore dell'alimento/bevanda) oppure del riutilizzo a casa. Il primo non è percorribile in quanto dovrebbe essere omesso il componente tamper-evident, che ha la funzione di dare evidenza dell'avvenuta apertura al primo utilizzo. Rendendo il sistema reversibile non solo se ne vanificherebbe la funzione, ma si renderebbe incredibilmente semplice la falsificazione del prodotto. Là dove il sistema del vuoto a rendere viene già applicato alla bottiglia (per esempio il sistema di distribuzione e raccolta di acqua in vetro a domicilio), viene esplicitamente chiesto di rimuovere il tappo in quanto complicherrebbe la fase di rabbocco delle bottiglie, e quando la bottiglia viene riconsegnata col tappo, questo viene smaltito nei rifiuti. Invece, nel secondo caso si è intravista qualche possibilità in più: nel caso di prodotti premium, in cui il ruolo estetico del packaging è primario, è possibile sfruttare l'appeal della bottiglia per invitare il consumatore a portarla a casa e riutilizzarla (come borraccia, per esempio). In questo caso si sceglie eventualmente di rinunciare ad una funzione anticontraffazione, in modo da semplificare il riutilizzo. Tuttavia, il rischio che tappo e bottiglia vengano contraffatti e re-immessi nel mercato sussiste, quindi si dovrebbe identificare un sistema che garantisca l'integrità della bottiglia e del suo contenuto al momento dell'acquisto. Una tecnologia implementabile per esempio è il sistema NFC, già adottato su alcuni prodotti Guala: con l'NFC si potrebbe verificare tramite lo smartphone l'origine della bottiglia, così da poter sorpassare il problema menzionato. Al momento di stesura della tesi, non è stato ancora identificato un possibile partner con cui sviluppare un prodotto del genere, pertanto il lavoro di tesi si concentra sui prossimi quattro punti.

**Recycle:** questa strada si propone di rendere i prodotti più facilmente riciclabili, andando incontro ai punti 3 e 4 delle priorità identificate dalla Ellen MacArthur Foundation, ovvero che la plastica sia 100% riutilizzabile, riciclabile o compostabile, sia in teoria che in pratica<sup>[19]</sup>. Uno dei motivi identificati per cui attualmente la maggior parte dei prodotti Guala non vengono riciclati è dovuto alla composizione delle chiusure: per garantire funzionalità ed estetica vengono usati più materiali su di un singolo prodotto. Tuttavia, dato che i diversi componenti non vengono disassemblati al momento dello smaltimento (anche perché sono progettati per non essere smontabili per garantire la funzione anticontraffazione) non è possibile mandarli in uno stream corretto di riciclo. Per questo, la soluzione identificata è quella

di rendere la chiusura mono-materiale: si mantiene il numero di componenti originale, in modo da mantenere la funzionalità, andando ad usare polimeri appartenenti ad una singola famiglia, in modo da aumentare le possibilità che il componente venga riciclato. Per garantire ciò, si chiede però che la chiusura venga rimossa dalla bottiglia e gettata nel "bidone della plastica". Nel caso di questa tesi, i prodotti identificati per testare questa soluzione sono 2, ovvero le chiusure Bikini e Mars.

**Consume less:** questa strada è relativa al tipo di risorse utilizzate per produrre i polimeri utilizzati, ovvero lo scopo è di usare meno polimeri da risorse fossili, vertendo su polimeri da fonte rinnovabile. Questo settore sono numerose le famiglie polimeriche prodotte, alcune implementano anche modelli di economia circolare. In particolare, sono state individuate gradi di polietilene prodotti a partire da canna da zucchero (identificata come fonte rinnovabile), gradi di PE e PP prodotte parzialmente sfruttando scarti di olio alimentare, gradi di poliesteri prodotti parzialmente sfruttando cellulosa. Nell'ambito di questa tesi, i prodotti identificati per testare questa soluzione sono 3, ovvero Spring, Bikini e Mars.

**Use less:** questa strada riguarda la quantità di polimero vergine usato per produrre i componenti, con lo scopo di inserirsi in modelli di economia circolare. Sono state individuate due possibilità per applicare questo principio: usare polimeri riciclati oppure usare dei filler da fonte rinnovabile. Il primo caso presenta diverse controversie che rendono difficile l'applicazione: i polimeri provenienti dal riciclo post-consumo spesso non hanno la certificazione relativa al contatto con gli alimenti, limitando il loro uso ai componenti non a contatto con i liquidi. Inoltre, sono caratterizzati da odori forti, fattore che non li rende idonei al settore degli alcolici, in quanto non vengono accettati dai produttori di alcolici e superalcolici poiché verrebbe minata la qualità percepita. Relativamente agli odori, anche se il componente non è a contatto con l'alcolico, è comunque possibile che venga riscontrata una cessione di gusto. Nell'ambito di questa tesi, è stato provato un grado di polietilene, visibile nei sotto-capitoli Bikini e Mars.

Il secondo caso prevede invece di usare dei filler di origine rinnovabile in modo da ridurre la quantità di plastica usata. Attualmente, esiste già un prodotto Guala Closures prodotto con questo principio: si tratta di un sovrappacco in polipropilene caricato con il 30% di fibre di agave provenienti dagli scarti di produzione della tequila, destinato proprio a questo tipo di superalcolico. Nell'ambito del progetto ECIPOL sono state provate altre cariche provenienti da scarti agricoli, come le bucce d'uva o tutoli di mais. Tuttavia, usando questi filler si sono riscontrati diversi problemi, come la generazione di muffe, grande difficoltà nel processare questi materiali con lo stampaggio ad iniezione, colori intensi non modificabili (la buccia d'uva rende il polimero nero, ad esempio), e odori forti. Nell'ambito di questa tesi non sono stati individuati prodotti idonei ai test che si intende svolgere.

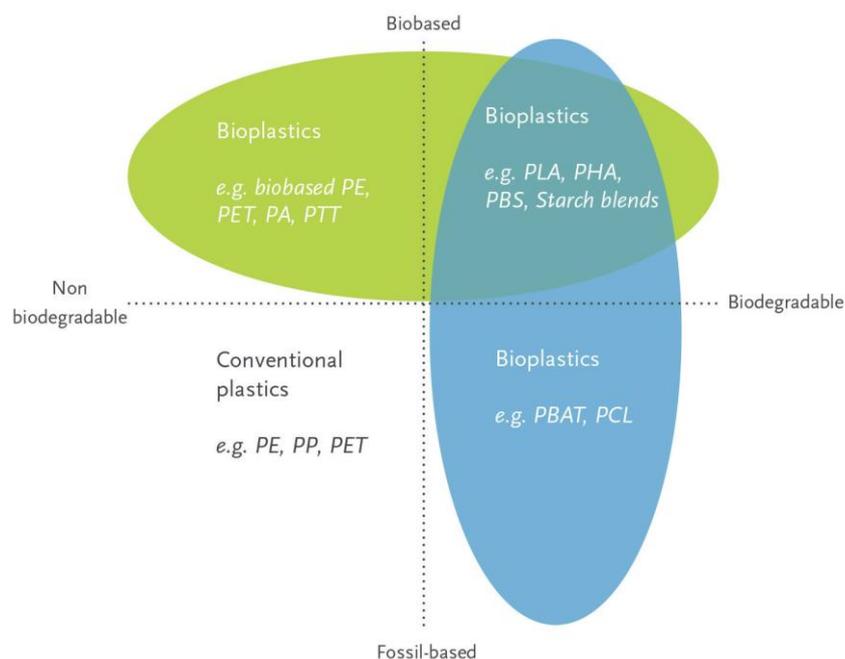
**Biodegrade:** questa strada prevede lo sviluppo di prodotti biodegradabili e compostabili. In questo caso, date le difficoltà riscontrate con i metodi di riciclo meccanico, si rende il prodotto biodegradabile o compostabile, in modo da ridurre i possibili danni dovuti alla generazione di microplastiche che deriverebbero da una scorretta gestione del rifiuto. I gradi di bio-polimeri testati sono dei blend compostabili sviluppati ad hoc per le chiusure Spring e Mars. L'uso di materiali compostabili tuttavia è controverso: infatti, il costo di questi materiali è molto elevato, sia per i metodi produttivi che per la combinazione di scarsità di materia prima e grande richiesta. Generalmente prevedono tempi ciclo molto lunghi, quindi unendo questi due fattori, l'impatto sul costo di produzione rende i prodotti poco competitivi. Inoltre, anche questi materiali presentano odori forti, limitando le possibilità di applicazione. Un altro fattore che genera dubbi relativamente all'uso di materiali compostabili è la scelta della catena di distribuzione Tesco di bandire i materiali compostabili in condizioni industriali, e di lasciare in sospensione i materiali compostabili in condizione di home composting. Infatti, in seguito ai confronti effettuati con alcune aziende che riciclano polimeri, risulta che queste classi polimeriche non vengono smaltite correttamente, andando in alcuni casi a danneggiare la qualità del polimero riciclato, in altri casi, in seguito ai processi di separazione delle diverse classi polimeriche, vengono indirizzati negli scarti, quindi destinati a processi di termovalorizzazione o discarica. Nonostante questi fattori, per via delle richieste dei clienti, per via della volontà di combattere i possibili danni all'ambiente causati da una scorretta dismissione dei prodotti Guala, e per imparare a lavorare correttamente questi materiali, si procede con questa strada.

## 2. La sfida sostenibilità

In questo capitolo si espone il progetto di tesi in esame, in particolare, verranno trattate prima le classi polimeriche alternative a quelle tradizionali, verranno descritti i metodi di riciclo per i materiali polimerici tradizionali e per i materiali biodegradabili, quindi verranno presentati i tre prodotti in esame, mostrando la composizione degli oggetti ed il metodo produttivo, spiegando l'obiettivo del progetto per ogni chiusura e cosa ha portato alla definizione dei singoli obiettivi. In coda al capitolo si riporterà infine la metodologia di test applicata internamente all'azienda.

### 2.1 Bioplastiche

In questo capitolo si introduce il concetto di bioplastica secondo la definizione data da European Bioplastics, l'associazione ormai riferimento per questo settore. Vengono quindi presentate brevemente le principali famiglie appartenenti a questo settore. Secondo European Bioplastics, un materiale plastico può essere detto bioplastica se è bio-based, biodegradabile o entrambe<sup>[20]</sup>. Il termine bio-based indica che il materiale è totalmente o parzialmente derivato da biomassa (piante o anche batteri, il fattore più importante è che la fonte sia rinnovabile in tempi paragonabili a quelli di uso degli oggetti stessi). Esempi di biomassa usata sono la canna da zucchero, cellulosa o il mais. Un materiale è biodegradabile se può andare incontro al processo di biodegradazione, un processo chimico in cui microorganismi disponibili nell'ambiente convertono tale materiale in sostanze naturali come acqua o anidride carbonica senza l'ausilio di additivi. Il processo di biodegradazione dipende dalle condizioni ambientali, sul materiale e sull'applicazione. È importante notare che una proprietà non implica necessariamente l'altra, ovvero un materiale 100% bio-based può non essere biodegradabile, così come un materiale derivato dal petrolio può essere biodegradabile. Esempi di plastiche bio-based non biodegradabile sono il bio-PE o il bio-PP, esempi di polimeri biodegradabili di origine fossile sono il PCL e il PBAT, invece polimeri che presentano entrambe le proprietà sono il PLA, il PHA o il PBS. La stessa European Bioplastics propone un grafico ampiamente usato in cui vengono riassunti i concetti suddetti, con riferimento ad alcune delle classi più note. Tale grafico è riportato tal quale in figura 2.1.



**Figura 2.1** - Grafico "Sistema di classificazione dei materiali nelle bioplastiche"<sup>[20]</sup>

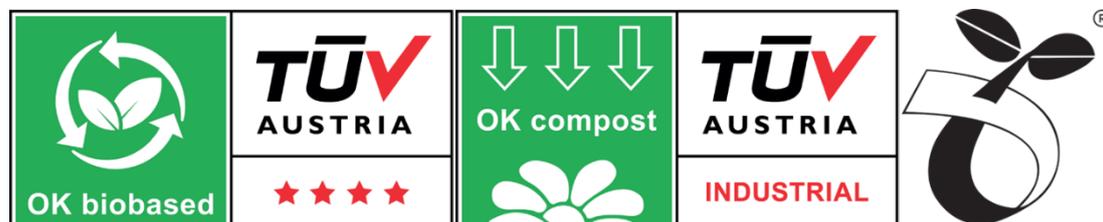
Gli standard per definire il contenuto di polimero bio-based o la biodegradabilità di un prodotto si sono sviluppati diversamente nel mondo. Di seguito si riportano alcune delle metodologie applicate, tuttavia, European Bioplastics sottolinea che tali standard si scostano da quanto raccomandato dall'associazione stessa.

Per i polimeri bio-based si indica il "contenuto di carbonio bio-based" o il "contenuto di massa bio-based". Il primo viene misurato col metodo del carbonio 14, secondo lo standard Europeo CEN/TS 16137 oppure quello americano ASTM D6866, generalmente misurato da enti certificatori. Il secondo viene misurato con metodo complementare al carbonio 14, misurando anche il contenuto di altri elementi come ossigeno, azoto e idrogeno. Nel caso del metodo del carbonio 14 si misura la quantità di questo isotopo all'interno di un materiale: il  $^{14}\text{C}$  è un isotopo leggermente radioattivo del carbonio, con tempo di dimezzamento di circa 5730 anni, si forma in seguito alle interazioni tra le radiazioni solari e l'azoto negli strati più alti dell'atmosfera terrestre. Per via del rapido decadimento di questo isotopo, la sua concentrazione nell'ambiente è costante. Il radiocarbonio così formatosi reagisce istantaneamente con l'ossigeno formando anidride carbonica, che in seguito viene coinvolta nei processi di fotosintesi delle piante. A seconda di ciò a cui le piante vanno incontro, l'isotopo può passare da un organismo ad un altro: se una pianta fa parte della catena alimentare di un'altra forma vivente, il carbonio 14 contenuto in essa passa all'altra forma vivente, che a sua volta può passarlo ad un altro, inserendosi nella catena alimentare. Di fatto, l'isotopo radioattivo è presente in tutte le forme viventi in quantità costante, quando questa costanza viene interrotta (per esempio per via del decesso dell'organismo, che non integra più il carbonio radioattivo), procede il decadimento dell'isotopo senza essere sostituito. Determinando il contenuto di tale isotopo in un campione, è possibile dedurre l'età del campione stesso. Nel caso dei polimeri biobased, il metodo del carbonio 14 è efficace per determinare l'effettiva origine del polimero. Infatti, se il polimero in esame è effettivamente stato prodotto partendo da piante o batteri, in esso sarà presente l'isotopo, invece nel caso in cui sia stato prodotto a partire da risorse fossili (le quali hanno età superiore ai tempi di decadimento del  $^{14}\text{C}$ ) il carbonio radioattivo non sarà presente. Nel caso in cui il polimero sia parzialmente biobased, solo una percentuale del carbonio presente sarà radioattiva. Nel caso della ASTM D6866, la quantità di polimero biobased presente viene determinata a seconda della percentuale di isotopo presente (se è presente il 75% di  $^{14}\text{C}$ , il polimero viene detto 75% Biobased)<sup>[21]</sup>.

La biodegradazione può avvenire in condizioni molto differenti, a seconda delle quali può variare la velocità del processo ed il tipo di prodotti derivati. Ad esempio, la reazione può avvenire in presenza o assenza di ossigeno, risultando in prodotti molto diversi: nel primo caso si ottengono anidride carbonica, acqua, talvolta anche nitrati e fosfati, mentre nel secondo caso risultano anidride carbonica, metano, ammoniaca e altri composti<sup>[22]</sup>. Sono determinanti nel processo altri fattori, come il contenuto di umidità, la temperatura, la concentrazione di microrganismi e la concentrazione di sali. Di conseguenza, sono state sviluppate numerose normative atte a verificare la biodegradabilità di un materiale a seconda delle condizioni di contorno applicate, misurando fattori diversi. Quelle di maggiore interesse sono la EN 13432 e la EN 14995: la prima definisce gli standard, la metodologia ed i criteri per valutare la compostabilità degli imballaggi, la seconda riguarda le materie plastiche in generale. Il compostaggio è la trasformazione, per via fermentativa (ovvero biodegradazione) di rifiuti organici in una miscela simile a terriccio bruno, detta compost, usata come ammendante del terreno agricolo<sup>[23]</sup>. La biodegradazione in atto è di tipo aerobico, affinché il compostaggio proceda in modo corretto sono necessarie la previa pezzatura dei rifiuti (in modo che l'esposizione all'ossigeno sia ottimale), un'umidità superiore al 50%, temperature al di sopra dei 55°C e rapporti carbonio/azoto precisi. Le caratteristiche richieste ad un materiale secondo la norma EN 13432 sono<sup>[24], [25]</sup>:

- Biodegradabilità secondo la norma EN 14855, in cui viene misurata la quantità di anidride carbonica emessa in seguito al processo. In particolare, è richiesto che almeno il 90% della massa organica venga convertita in  $\text{CO}_2$  entro sei mesi;
- Disintegrabilità, ovvero frammentazione e perdita di visibilità nel compost finale. In particolare, è richiesto che la massa trattenuta da un setaccio con luce di 2 mm dopo un periodo di tre mesi sia inferiore al 10% della massa iniziale;
- Assenza di effetti negativi sul normale processo di compostaggio, da misurare su impianti in scala reale;
- Bassi livelli di contaminazione dovuti alla presenza di metalli pesanti (con limite prestabilito) e assenza di effetti negativi sul compost finale, qualità misurata con prova di crescita di piante.

In entrambi i casi, se le condizioni sono rispettate ed i test relativi vengono superati, l'ente certificatore rilascia delle etichette applicabili sul prodotto come garanzia di quanto dichiarato. Tra gli enti certificatori più noti c'è TÜV Austria, precedentemente Vinçotte, le cui etichette e marchi sono visibili in figura 2.2. In particolare, sono riportata l'etichetta sul contenuto di carbonio bio-based, l'etichetta per la compostabilità industriale e il simbolo della piantina (seedling label) indicante adesso la compostabilità.



**Figura 2.2** – Esempi di etichette per Bioplastiche di TÜV Austria ed etichetta a piantina <sup>[20]</sup>

Le classi di bioplastiche più note e disponibili sul mercato sono il bio-polietilene, il bio-PET, l'acido polilattico PLA, i derivati dei poli-idrossialcanoati PHA (come il poli-idrossi-butirato PHB) e il polibutilene succinato PBS. Vengono di seguito descritte brevemente, con particolare riferimento alla loro posizione nel grafico di figura 2.1.

**Bio-PE:** con bio-polietilene si intendono quei gradi di polietilene parzialmente o totalmente derivati da fonti rinnovabili. Il polietilene tradizionale è prodotto tramite steam cracking di nafta o oli pesanti, oppure per deidratazione di etanolo. Nel caso del bio-PE si segue il secondo metodo, ottenendo l'etanolo tramite fermentazione di materiale agricolo, come la canna da zucchero. L'etilene ottenuto tramite deidratazione viene quindi polimerizzato, ottenendo polietilene, il quale è chimicamente e fisicamente identico al polietilene ottenuto da risorse fossili<sup>[26]</sup>. In quanto tale, non è biodegradabile, quindi nel grafico della European Bioplastics si posiziona nella parte superiore a sinistra.

Il vantaggio nell'uso di questo materiale risiede nel tipo di fonte usata, che è rinnovabile, e nelle emissioni di anidride carbonica che ne derivano. Uno dei produttori più noti di bio-PE è Braskem, che dal 2010 produce in larga scala questi materiali. In seguito al LCA effettuato nel 2013, si è calcolato che, complessivamente, per produrre un kg di bio-PE vengono assorbiti 2,15 kg di anidride carbonica dall'atmosfera<sup>[27]</sup>, <sup>[28]</sup>, contro i circa 1,83 Kg emessi per produrre il PE on metodi tradizionali<sup>[28]</sup>. Inoltre, il polietilene è un materiale riciclabile ed effettivamente riciclato, sono numerosi i marchi distributori di PE riciclato disponibili sul mercato (ad esempio Montello o GCR Group), quindi può essere utilizzato nello sviluppo di prodotti pensati in ottica di economia circolare.

**Bio-PET:** per bio-polietilentereftalato si intendono quei gradi di PET parzialmente o totalmente ottenuti da fonte rinnovabile. Generalmente il PET è costituito da un 15-30% di glicole etilenico (EG) e da circa il 70% di acido tereftalico (PTA)<sup>[29]</sup>. Anche in questo caso si sfruttano fonti rinnovabile come la canna da zucchero per la formazione delle molecole necessarie per la polimerizzazione, in particolare si usa l'etanolo ottenuto tramite la fermentazione della canna da zucchero per formare il glicole monoetilenico, che viene quindi portato agli step successivi. Il contenuto di carbonio bio-based può raggiungere il 30%, tuttavia a seconda di come viene gestito il feedstock se ne misurano quantità minori<sup>[30]</sup>. Anche il PTA può essere ottenuto a partire da fonti rinnovabili, producendo isobutanolo a partire dalla canna da zucchero, che in seguito a altri step di conversione chimica permette di ottenere il PTA<sup>[30]</sup>. In questo caso il contenuto di carbonio bio-based può raggiungere il 100%. Chimicamente e fisicamente il bio-PET è identico al PET tradizionale, può quindi essere usato per le stesse applicazioni. Così come il bio-PE, si posiziona nel quadrante superiore a sinistra del grafico della European Bioplastics.

I vantaggi sono analoghi a quelli riscontrati nel bio-PE, ovvero nell'uso di fonti rinnovabili, il sequestro di anidride carbonica dall'atmosfera da parte di queste e la possibilità di riciclare questi materiali negli stream tradizionali. Nel food packaging è nota l'utilizzo da parte di Coca-Cola di questo materiale per le proprie bottiglie, in particolare nel 2009 è stata introdotta la PlantBottle® 30% bio-based, nel 2015 la

ripresentata nella versione 100% bio-based<sup>[31]</sup>. Tra i produttori di questo materiale sono presenti FENC (Far Eastern New Century) e Virent.

**PLA:** sigla che comprende sia il poli acido lattico (ottenuto per condensazione diretta dell'acido lattico) che il polilattide (ottenuto per polimerizzazione apertura d'anello del lattide), è un biopolimero biodegradabile. L'unità ripetitiva di questo polimero è l'acido lattico, molecola che può essere prodotta sia tramite metodi petrolchimici, sia tramite fermentazione di carboidrati (ottenibile per esempio dalla canna da zucchero). Il polimero presenta struttura semicristallina, appartiene alla categoria dei polimeri termoplastici. Il comportamento di questo polimero viene spesso paragonato a quello di PET e PP<sup>[26]</sup>, può essere lavorato con strumenti classici per la lavorazione dei materiali plastici, viene utilizzato sia per imballaggi rigidi che flessibili, viene lavorato anche in forma di fibra.

L'acido lattico esiste in due forme diverse, dette L e D, se convertito in lattide può essere ottenuta anche una forma intermedia detta DL. A seconda del contenuto dei due isomeri le proprietà possono variare: nel caso in cui sia presente solo l'isomero L, la temperatura di transizione vetrosa si aggira tra 60-67°C, la temperatura di fusione della fase cristallina tra 170-180°C, mentre nel caso sia stato sintetizzato a partire dal lattide DL la  $T_g$  è compresa tra 50-60°C, inoltre la struttura diventa completamente amorfa<sup>[32]</sup>. Generalmente il PLA presenta elevato modulo elastico, trasparenza (variabile a seconda della cristallinità), buona resistenza ad acqua e alcol, scarse proprietà barriera (risulta più permeabile a CO<sub>2</sub>, acqua e ossigeno rispetto al PET), comportamento fragile dovuto all'elevata temperatura di transizione vetrosa (tra i 50-55°C)<sup>[26], [29], [30], [32]</sup>. La resistenza a trazione è di circa 50 MPa, l'allungamento a rottura è di circa il 4%. A causa della bassa resistenza al calore combinata con la bassa velocità di cristallizzazione sono necessari particolari accorgimenti per stampare ad iniezione questo materiale, che richiede quindi lunghi tempi ciclo<sup>[30]</sup>. La biodegradabilità di questo materiale è possibile oltre i 60°C, quindi questo materiale viene testato secondo le condizioni di compostaggio industriale.

I vantaggi di questo materiale sono riconducibili all'essere biobased (con le implicazioni riscontrate negli altri materiali da fonte rinnovabile) e biodegradabile. Se la degradazione del materiale è effettuata correttamente infatti si eviterebbe la formazione di microplastiche e l'inquinamento che deriva da esse (rischio da non sottovalutare per quel che riguarda bio-PE e bio-PET). Inoltre, questi polimeri sono idonei alla certificazione per il contatto con alimenti. Tuttavia, si deve sottolineare che la lavorabilità di questo materiale è molto diversa dai polimeri tradizionali, fattore che può portare a cicli insolitamente lunghi, inoltre al momento della stesura di questa tesi, numerosi fornitori di questo materiale hanno segnalato la carenza di importanti quantità garantite di PLA dovuta a fattori esterni. Tra i produttori di questo materiale tra i più importanti NatureWorks e Solanyl con una serie di gradi prodotti.

**PHB:** il poli-idrossibutirato PHB è un poliesteri batterico biodegradabile, fa parte della famiglia dei poli-idrossialcanoati PHA. La prima importante differenza con i gli altri polimeri bio-based descritti fino ad ora è nella sintesi del polimero: mentre per produrre bio-PE, bio-PET e PLA viene effettuata la fermentazione di biomassa per ottenere molecole da convertire tramite processi chimici, che andranno poi polimerizzati, nel caso del PHB il polimero viene prodotto direttamente da batteri<sup>[26]</sup>. Come materia prima, anche in questo caso si può usare la canna da zucchero. Essendo bio-based, nel grafico di figura 2.1 si posiziona in alto a destra.

Le proprietà sono simile a quelle del polipropilene, ad eccezione dell'elevata fragilità<sup>[25], [29]</sup>. Il PHB presenta una temperatura di fusione di circa 180°C e viene lavorato vicino alla sua temperatura di decomposizione<sup>[32]</sup>. La resistenza a trazione si aggira intorno ai 40 MPa, l'allungamento a rottura intorno all'8%. Il PHB è completamente biodegradabile, inoltre trova applicazione nel settore biomedico per via della sua biocompatibili ed è adatto per le applicazioni a contatto con alimenti.

A seconda del tipo di batteri ed il feedstock, il PHB può essere sintetizzato con grande variabilità delle proprietà, coprendo range abbastanza ampi, divenendo così customizzabile per più settori. Il principale limite di questo materiale risiede nella minore disponibilità rispetto ad altri biopolimeri. I costi che derivano dal complicato processo produttivo non sono trascurabili qualora si volesse implementare in produzione in larga scala<sup>[26], [32]</sup>. Tra i produttori più noti di questo materiale vi è Procter and Gamble.

**PBS:** polibutilene succinato, è un polimero biodegradabile che può essere sia derivato da fonti rinnovabili che da risorse fossili. Come tale, si posiziona sia nel riquadro superiore che in quello inferiore nella parte a destra del grafico della European Bioplastics. Il PBS è un poliesteri alifatico ottenibile dalla polimerizzazione di acido succinico e 1,4-butanediolo (BDO). Nel caso della produzione da fonti

rinnovabili, tramite una serie di step chimici si possono convertire saccarosio, glucosio e fruttosio in acido succinico, che tramite idrogenazione può essere a sua volta convertito in BDO. Entrambe le molecole sono ottenibili per via petrolchimica partendo dall'anidride maleica, tuttavia questo è un procedimento costoso, con conseguenti limiti nella richiesta per questa classe di materiali<sup>[32]</sup>.

Le proprietà del PBS sono simili a quelle del polipropilene, è un polimero a struttura semicristallina presenta una temperatura di fusione di circa 115°C. Tra i produttori più noti di questo materiale vi sono NatureWorks e Bioamber.

**Blend di biopolimeri:** i polimeri biodegradabili sopracitati presentano proprietà spesso paragonate a quelle di polimeri tradizionali, anche se, a seconda del metodo produttivo, lo spettro delle proprietà copre range più o meno ampi. Tuttavia, vengono spesso accoppiati tra di loro o con altri polimeri tradizionali per formare dei blend, in modo da ottenere proprietà più adatte ad applicazioni industriali. Ad esempio, per aumentare la resistenza al calore del PLA sono stati testati blend contenenti etilene vinil-acetato, con un incremento netto della HDT, con un spostamento da circa 60°C a 133°C<sup>[33]</sup>. Tuttavia, miscelando polimeri non biodegradabili con polimeri biodegradabili, si compromette quest'ultima qualità, risultando in una incompleta biodegradazione del materiale, restano comunque almeno in parte bio-based e quindi ancora utilizzabili se si vuole aumentare la sostenibilità del prodotto.

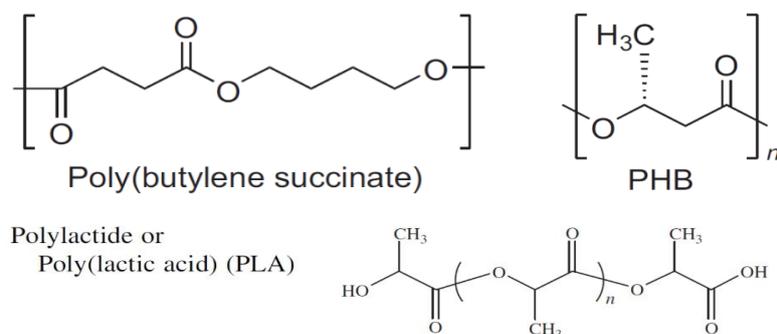
Comunque, risultano di interesse maggiore blend realizzati completamente con polimeri biodegradabili.

Si studiano blend a base PLA per migliorarne la lavorabilità e ridurre la fragilità che questo materiale può presentare. Un limite che può presentarsi è relativo alla miscibilità di questo polimero con gli altri: mentre nel caso dei blend con il PBS o i suoi derivati si riscontra una buona miscibilità, nel caso di alcuni derivati del PHA si trova una bassa miscibilità per via dell'alta cristallinità del PLA<sup>[32]</sup>. Per questo talvolta si ricorre a miscelazione reattiva dei componenti, aggiungendo dei reagenti che favoriscano le interazioni tra le catene polimeriche. Altro metodo per migliorare la lavorabilità e la resistenza del PLA è tramite l'aggiunta di plasticizzanti come il PEG. Tuttavia i plasticizzanti mostrano tendenza a migrare verso la superficie del materiale, con conseguente infragilimento<sup>[32]</sup>.

Nel caso del PHB si formano blend con altri polimeri per ridurre i costi e modificare le proprietà meccaniche. In campo biomedico sono studiati blend di PHB con alcuni suoi copolimeri, come quelli contenenti idrossivalerato PHBV. Tali blend mostrano temperatura di transizione vetrosa e di fusione dipendenti dalla composizione<sup>[33]</sup>. Sempre nel caso del PHBV, aggiungendo una quantità tra il 20-50% di PLA porta un aumento della resistenza a flessione e del modulo elastico, ma non la resistenza a trazione e l'allungamento a rottura, inoltre possono essere migliorate le proprietà barriera<sup>[32]</sup>.

Il PBS si mostra particolarmente adatto per sviluppare blend con altri biopolimeri, come PLA, PHB o polimeri a base amido. In quest'ultimo caso, il PBS viene aggiunto per migliorare la stabilità del polimero e le proprietà meccaniche, per ridurre la fragilità ed aumentare la flessibilità<sup>[26]</sup>.

Complessivamente, grazie alla possibilità di creare miscele di polimeri completamente biodegradabili, range di proprietà più ampi vengono coperti, andando incontro a necessità legate sia ad aspetti funzionali (come proprietà meccaniche o termiche) sia a necessità legate a disponibilità e costi dei materiali. Si riportano infine le formule chimiche di PLA, PHB e PBS in figura 2.3.



**Figura 2.3** - Formule chimiche di PBS, PHB e PLA<sup>[26], [29]</sup>

## 2.2 Riciclo delle materie plastiche

Per inserirsi al meglio in un contesto di economia circolare non solo è opportuno utilizzare materiali ricondizionati (quando possibile), ma si deve progettare il proprio prodotto in modo che sia riciclabile. È quindi utile conoscere al meglio cosa si intende per riciclo, come avviene e cosa è coinvolto. È opportuno notare che nei processi di riciclo non sono coinvolti polimeri biodegradabili, i quali devono seguire processi differenti.

Nell'ambito di questa tesi sono stati analizzati diversi metodi e diverse iniziative applicate in Europa, per meglio comprendere quale fosse la strada giusta da percorrere. Il risultato delle ricerche effettuate è controverso: nonostante in ogni stato Europeo vengano raccolti più o meno efficacemente i rifiuti e destinati a processi di riciclo, non è definito uno standard univoco applicato su larga scala. Nella stessa città è possibile che a seconda del quartiere la raccolta differenziata venga svolta in modi differenti. È pertanto impossibile descrivere con precisione il processo di riciclo di un oggetto in materiale polimerico da quando diventa rifiuto al ricondizionamento, vengono quindi descritti in questo capitolo i differenti tipi di riciclo a cui può andare incontro un materiale polimerico, e gli step tipici del processo.

Per riciclo dei materiali plastici si intende l'insieme di strategie atte a recuperare tali materiali dai rifiuti per riutilizzarli anziché smaltirli, in modo da prevenire sprechi, riducendo il consumo di materie prime non rinnovabili.

Il riciclo delle materie plastiche viene distinto in quattro categorie<sup>[34]</sup>:

1. **Riciclo primario:** forma di riciclo meccanico effettuata all'interno dello stesso impianto, in cui gli scarti di lavorazione vengono immessi nuovamente nel ciclo produttivo. Metodo economico, la qualità del polimero è quasi inalterata rispetto al polimero vergine, anche se, tuttavia, già con la prima lavorazione si recano danni alle catene polimeriche. Per via della degradazione termomeccanica, il numero di volte che un polimero può essere rilavorato è limitato, in quanto le proprietà del polimero cambiano in seguito all'abbassamento del peso molecolare;
2. **Riciclo secondario:** forma di riciclo meccanico effettuata in seguito ai processi di raccolta differenziata e ricondizionamento dei polimeri dopo un intero ciclo vita. I polimeri così riciclati vengono anche detti polimeri da riciclo post-consumo (PCR). Questi hanno qualità più bassa rispetto ad un polimero vergine per diverse ragioni: avendo avuto un ciclo vitale completo, i polimeri raccolti possono essere andati incontro a diversi processi degradativi, causati ad esempio dai raggi UV, sbalzi di temperatura, agenti atmosferici, sforzi meccanici. Nei vari step che portano dal rifiuto al polimero ricondizionato intervengono altri fattori che possono degradare il materiale, come i metodi di lavaggio o la granulazione. Ad abbassare la qualità di un polimero PCR interviene anche l'eterogeneità dei rifiuti polimerici, infatti, anche se appartenenti alla stessa famiglia polimerica, possono essere presenti additivi, coloranti, diversi pesi molecolari e altri fattori che rendono difficile l'ottenimento di un prodotto omogeneo;
3. **Riciclo terziario:** detto anche riciclo chimico, include ai processi di depolimerizzazione delle materie plastiche ottenendo monomeri o oligomeri che possono essere riprocessati o utilizzati come combustibili. Questi possono essere in forma liquida o gassosa, il processo di depolimerizzazione può essere effettuato in modi diversi, ad esempio tramite pirolisi o processi che prevedono l'uso di agenti chimici.

In questo ambito è particolarmente degno di nota il processo sviluppato da Sabic, che al K-show tenutosi a Düsseldorf nel 2019 ha presentato una nuova gamma di polimeri ottenuti da riciclo chimico, partendo da un feedstock eterogeneo di rifiuti plastici. Al momento di stesura della tesi l'impianto disponibile può produrre una quantità limitata di plastica (500 tonnellate all'anno), ed è in corso di sviluppo un impianto più grande. Sul mercato è possibile trovare alcune confezioni della Unilever fatti con questi polimeri destinate ai gelati Magnum. Il processo consiste in uno step di pirolisi atto a spezzare le molecole in prodotti di minor peso molecolare, ottenendo un olio, il quale viene utilizzato come materia prima per i processi di polimerizzazione<sup>[35]</sup>.

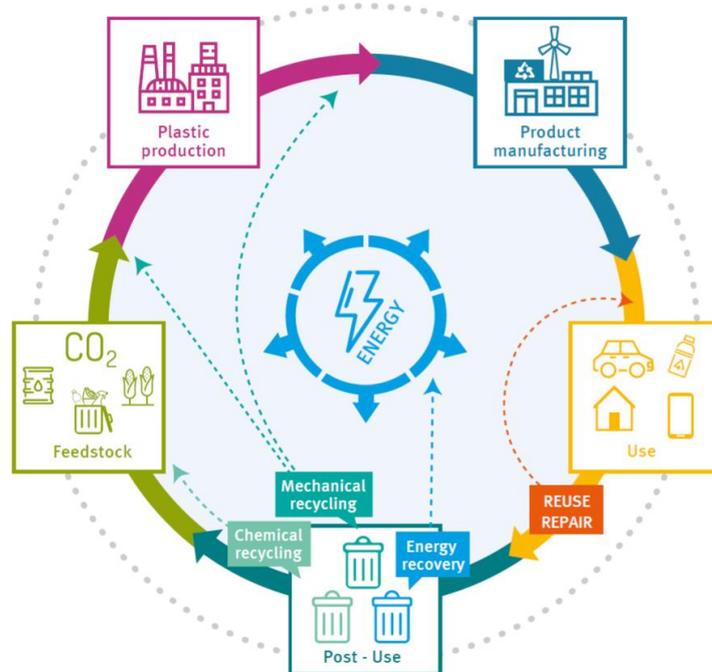
Il vantaggio risiede nell'alta qualità di questi polimeri, che essendo prodotti da polimerizzazione, presentano le stesse proprietà dei polimeri tradizionali, inoltre possono essere certificati per il contatto coi cibi, certificazione non ottenibile dai polimeri PCR ricondizionati meccanicamente. Inoltre, il feedstock di input al processo non necessita di essere omogeneo, rendendo superflui

gli step di separazione e permettendo di recuperare rifiuti altrimenti destinati ad incenerimento o discarica;

4. **Riciclo quaternario:** detto anche recupero energetico. Prevede l'incenerimento dei rifiuti polimerici per produrre energia. Delle forme di riciclo è indicata come l'ultima da seguire in un'ottica di economia circolare, in quanto il materiale non è reinserito effettivamente nel mercato. Dal punto di vista ecologico non è efficiente, in quanto vengono emesse grandi quantità di anidride carbonica ed altri composti dannosi per l'ambiente. Tuttavia, il metodo è largamente usato in quanto resta un'alternativa migliore alla dismissione in discarica.

Come è possibile dedurre, ogni metodo di riciclo presenta vantaggi e svantaggi. Al momento di stesura di questa tesi, i polimeri disponibili sul mercato sono prodotti col secondo metodo, tuttavia non possedendo le certificazioni FDA sono difficilmente applicabili ai prodotti Guala Closures. Il maggior potenziale è percepito nei polimeri riciclati chimicamente, tuttavia disponibili in piccole quantità.

I metodi di riciclo sono efficacemente schematizzati da Plastics Europe, è possibile vedere lo schema in figura 2.4. Tale schema è anche applicabile per descrivere i metodi di Economia Circolare.



**Figura 2.4** - Schema dei metodi di riciclo proposto da Plastics Europe<sup>[17]</sup>

Nel caso del riciclo meccanico gli step a cui i rifiuti vanno incontro sono molteplici, a seconda dell'impianto e del tipo di rifiuti la sequenza può variare. Inoltre, il metodo con cui i rifiuti vengono collezionati varia a seconda dell'ente posto a questo compito.

Gli step effettuati in seguito alla raccolta dei rifiuti sono<sup>[34]</sup>:

- **Stoccaggio:** fase logistica del processo, riguarda come vengono conservati i rifiuti prima dei trattamenti nell'impianto. Il modo in cui questo avviene può influire sulla qualità del rifiuto, infatti, ad esempio, mentre alcune classi polimeriche non soffrono l'umidità, altre possono essere danneggiate da questa;
- **Trasporto:** altra fase logistica del processo in cui i rifiuti vengono spostati da una fase alla successiva. Può essere effettuato su nastri trasportatori, viti senza fine, flottazione o altri metodi.

Anche in questo caso il metodo applicato può influire sulla qualità del polimero, inoltre influisce sulle fasi successive;

- **Macinatura:** fase di riduzione di taglia del rifiuto. In questo modo si raggiunge un feedstock omogeneo, si riducono i volumi e si semplificano le fasi successive. Può avvenire mediante taglio o mediante impatto, a seconda delle proprietà generali del polimero da trattare (durezza, sensibilità al calore, elasticità) alcuni metodi risultano più opportuni di altri;
- **Vagliatura:** processo di separazione di taglia, può avvenire tramite setacci o sistemi di flusso. Questa fase permette di avere feedstock omogenei, inviando alle fasi di lavorazione successive frammenti di taglia più adeguata, permettendo di riprocessare quelli che invece non sono stati ridotti correttamente;
- **Separazione:** fase cruciale del processo (presentato dal Corepla come “il passaggio Chiave verso il riciclo”)<sup>[36]</sup>, in cui le diverse classi di polimero vengono separate. Processo complicato, che determina la quantità di rifiuti effettivamente portati al riciclo. Avviene in più step, spesso viene effettuata una prima fase manualmente, quindi si sfruttano metodi ottici di analisi ad infrarossi, oppure metodi con flussi liquidi che permettono di separare in base alla densità. Nelle fasi di separazione dei rifiuti, quando sono presenti classi miste di materiali, si sfruttano anche sistemi magnetici che permettono di separare materiali metallici dagli altri;
- **Lavaggio:** fase di pulizia atta a rimuovere agenti contaminanti dai rifiuti. A seconda del polimero processato può avvenire utilizzando metodi diversi. Nel caso delle bottiglie in PET, ad esempio, si effettua un lavaggio a monte, in cui si rimuove lo sporco accumulato esternamente alle bottiglie, si ripete in seguito alla macinazione per raggiungere quindi la parte interna dei contenitori.;
- **Asciugatura:** fase eseguita in seguito ai lavaggi per rimuovere l'umidità in eccesso, che per alcune classi può essere causa di degradazione;
- **Condizionamento:** fase in cui tramite aumento di temperatura e pressioni applicate si fanno rammollire i cips ottenuti con il processo, ottenendo granuli da poter essere usati con i classici strumenti di trasformazione dei polimeri.

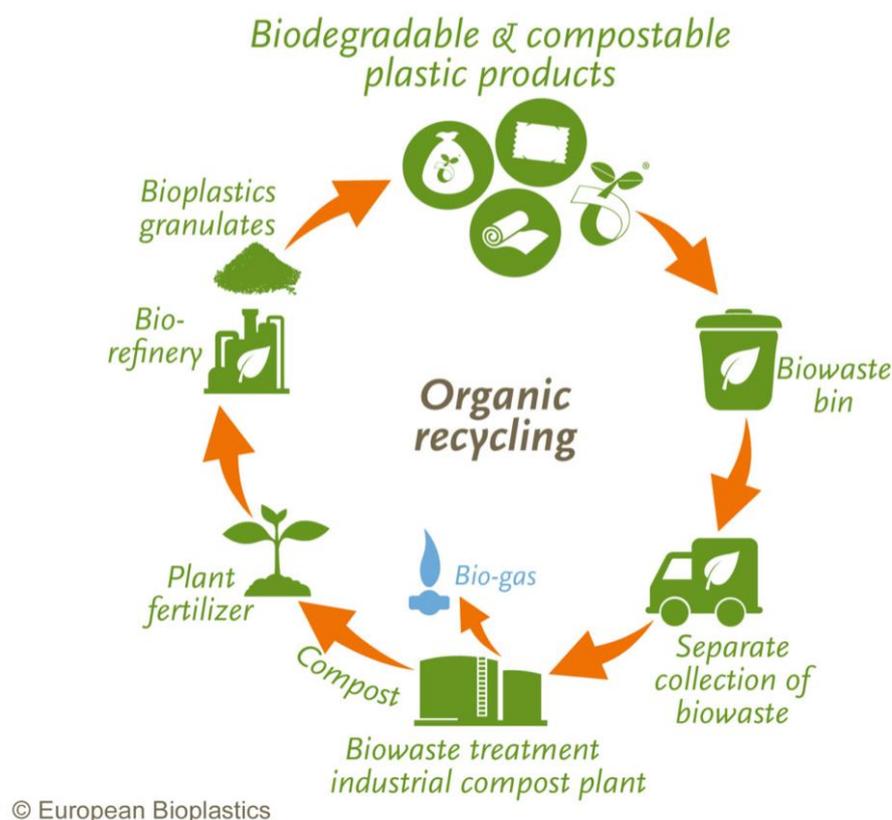
In seguito al confronto con alcune aziende di riciclo, risulta che gli step che più influiscono sul riciclo dei prodotti Guala Closures sono vagliatura e separazione. Spesso le chiusure del genere prodotto dall'azienda non vengono gettate nella raccolta della plastica, ma vengono smaltite insieme al vetro. In seguito ad un confronto con il Cial<sup>[37]</sup>, è risultato che la parte in alluminio viene recuperata, tuttavia la parte polimerica viene trattata come scarto, quindi non recuperata.

Nel caso dei materiali biodegradabili e compostabili il processo è diverso. Infatti, questo tipo di rifiuti è collezionato e trattato separatamente: i rifiuti organici comprendono generalmente scarti agricoli (verde), rifiuti domestici (umido) ed anche fanghi da acque reflue (fanghi) i quali, in seguito alla raccolta, vengono smaltiti in impianti appositi in cui vengono controllati i processi di biodegradazione. In particolare, l'impianto può essere di compostaggio o di digestione anaerobica: nel primo caso i rifiuti vengono trattati in modo da ottenere compost alla fine del processo, mentre nel secondo caso prima di portare i materiali alle condizioni di compostaggio è effettuata una fase di digestione anaerobica, in modo da raccogliere il metano generato in seguito a questo processo. Le fasi a cui possono andare incontro i rifiuti organici sono:

- **Separazione:** fase a cui vanno incontro i rifiuti provenienti dalla raccolta indifferenziata, atta a separare materiali come vetro o plastica dalla frazione organica destinata al compostaggio;
- **Triturazione:** fase in cui i rifiuti vengono ridotti di taglia in modo da raggiungere la pezzatura più adatta al trattamento;
- **Miscelazione:** fase effettuata insieme alla triturazione, in questa fase vengono miscelati diversi tipi di rifiuto (come fronde da potatura, l'umido della raccolta differenziata, quando presenti i fanghi) in modo da ottenere una composizione omogenea, dotata della porosità più adatta per le fasi successive;
- **Digestione anaerobica:** qualora l'impianto lo preveda, il materiale viene inviato ad un digestore in cui si procede con il processo anaerobico, la cui temperatura ed il tempo di residenza dipende dal tipo di batteri operanti. Il sottoprodotto di questa fase sono biomassa, che andrà incontro ad una fase di compostaggio, e biogas, che viene utilizzato per produrre energia;
- **Compostaggio:** fase di conversione dei rifiuti organici o della biomassa ottenuta in seguito alla digestione anaerobica in compost. Questa fase si divide a sua volta in più sotto-fasi: la prima è detta mesofila, in cui inizia la conversione del rifiuto. Opera a temperature tra i 18 e 45°C per un

periodo di 2 o 3 settimane, grazie al calore generato in seguito alle reazioni metaboliche si raggiungono temperature più elevate, tipiche della seconda fase, ovvero quella termofila. In questa fase si lavora a temperature più alte, intorno ai 70°C, per un periodo di circa 3 settimane. Infine, segue la fase di maturazione, in cui il materiale ottenuto viene lasciato in cumuli per periodi di 4-6 settimane a seconda della composizione. Nel caso in cui il materiale trattato provenga dalla fase di digestione anaerobica, la prima sotto-fase non viene effettuata, passando direttamente a quella termofila. Mentre le prime due fasi necessitano di condizioni più controllate, e quindi di attrezzature adeguate per controllare i diversi parametri e il ricircolo dell'aria, l'ultima si può effettuare in capannoni, accumulando il materiale in cumuli<sup>[38]</sup>.

Il compost così ottenuto può essere utilizzato come fertilizzante, a seconda dell'origine dei rifiuti ha destinazioni diverse (ad esempio, se sono stati trattati fanghi da acque reflue non può essere usato per applicazioni agricole alimentari, ma può essere usato per fertilizzare alberi destinati all'industria cartiera)<sup>[39]</sup>. In ottica di economia circolare, il compost ottenuto da plastiche biodegradabili dovrebbe essere usato per fertilizzare le piante che verranno poi usate nella produzione delle bioplastiche. In figura 2.5 si riporta un disegno della European Bioplastics che riassume il concetto. Si conclude il capitolo riportando il caso italiano: in totale sono presenti 308 impianti di compostaggio industriale, di cui 47 con fase di digestione anaerobica. Nel 2015 sono stati trattati più di 6 milioni di tonnellate di rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata, ottenendo circa 1.761.000 tonnellate di compost. Tuttavia, la distribuzione degli impianti non è omogenea, infatti la maggior parte di questi impianti sono concentrati nel Nord-Italia. Dato che le plastiche biodegradabili usate nel packaging necessitano delle condizioni corrette per essere smaltite correttamente, e nel caso in cui venissero disperse nell'ambiente causerebbero gli stessi danni di una plastica tradizionale, l'uso di queste deve essere oculato, specificando chiaramente come deve essere smaltito l'imballaggio, ed una previa verifica dell'effettiva presenza di impianti di compostaggio nell'area di vendita a cui il prodotto è destinato eviterebbe danni all'ambiente ed i costi associati a questo tipo di polimero.

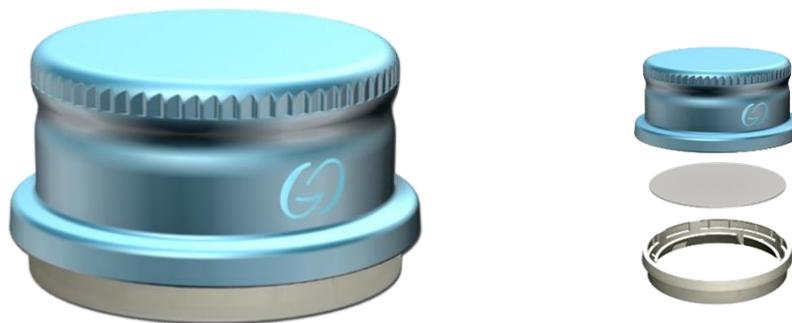


**Figura 2.5** - Economia Circolare e prodotti biodegradabili secondo European Bioplastics<sup>[40]</sup>

## 2.3 Le chiusure analizzate

I prodotti individuati per testare materiali sostenibili sono 3, appartenenti a settori e mercati diversi. In questa sezione vengono descritti in dettaglio, mostrando processo produttivo del prodotto standard e la sua applicazione, passando infine alle proposte progettuali sulla base delle strade proposte nel capitolo 1.3.

### 2.3.1 Spring



**Figura 2.6** - Chiusura Spring con esploso

In figura 2.6 è possibile vedere il primo prodotto analizzato, la chiusura Spring. Questa è tipicamente destinata alle bottiglie d'acqua in vetro, venendo percepito come prodotto d'alta gamma.

La chiusura è composta da tre componenti:

- 1. Cap:** questo è il componente in alluminio. Viene prodotto a partire da lastre tagliate in forma rettangolare e ottenute da una bobina. Le lastre ottenute vengono decorate con diversi metodi litografici, presentando così la decorazione che avranno sia "in testa", cioè sulla superficie piana superiore, che sui lati. Le lastre vengono quindi portate allo step di imbutitura, dove vengono tagliate in dischetti, i quali vengono deformati plasticamente e inviati all'assemblaggio. Questo componente, dopo lo step di applicazione sulla bottiglia, presenta il filetto che permette l'apertura e richiusura del recipiente.
- 2. Liner:** questo è il componente a diretto contatto con il liquido, presenta la funzione di tenuta, ovvero è il componente che si posiziona sulla bocca della bottiglia impedendo la fuoriuscita del liquido. Questo componente è fatto in PE, applicato con due diversi metodi: nel primo caso viene prodotto il nastro per calandratura che viene poi fustellato sulla linea di assemblaggio, ottenendo i dischetti che vengono fatti aderire all'alluminio mediante riscaldamento per induzione, mentre nel secondo caso si applica il processo plasmatic, processo in cui il granulo viene fuso e iniettato all'interno della capsula di alluminio (contemporaneamente riscaldata per favorire l'adesione) e successivamente punzonato (con geometria adeguata per la formatura della guarnizione). L'utilizzo dell'uno o dell'altro processo è a discrezione del cliente; il processo a nastro richiede più materiale (circa il doppio) ma garantisce una migliore tenuta della pressione interna.
- 3. Ring:** questo è l'anellino di plastica posto al fondo dell'assemblato. La funzione è quella di tamper evident, ovvero dà evidenza dell'avvenuta apertura della bottiglia tramite un cambiamento estetico. Questo componente è in LDPE, caricato con master bianco. Viene stampato ad iniezione, quindi inviato alla fase di assemblaggio, dove viene rimossa la materozza e quindi assemblato.

La funzione tamper evident è svolta da tre alette poste lungo la circonferenza, inizialmente giunte da altrettanti ponticelli. Durante l'applicazione, le alette scavalcano la бага senza rompere le giunzioni. Durante l'apertura, le alette devono nuovamente superare la бага, ma per via del sottosquadro che resta incastrato sotto di essa, i ponticelli si rompono, permettendo alle alette di sollevarsi.

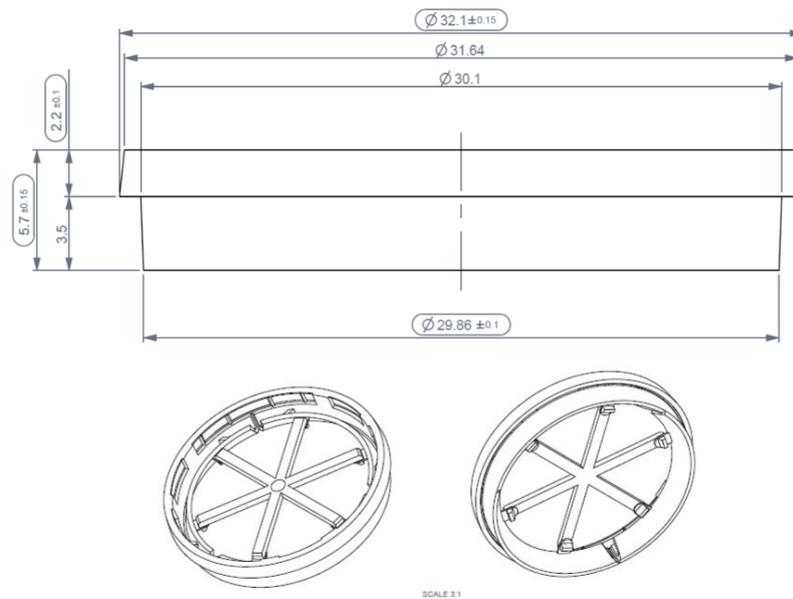
L'assemblaggio parte con il cap, che tramite delle canaline viene convogliato ad una stazione dove viene assemblato il liner con uno dei due metodi precedentemente descritti. Il semilavorato così ottenuto viene istantaneamente inviato tramite delle canaline alla fase successiva, dove un mandrino rimuove la materozza dall'anellino, lo posiziona sul cap, che subisce quindi una rullatura in modo da bloccare il componente.

La chiusura viene applicata sulla bottiglia in due fasi: posizionamento sulla bocca della bottiglia e rullatura. La rullatura viene effettuata tramite una testina rullatrice, la quale preme la chiusura contro la bottiglia, portando le alette del ring sotto la бага, quindi la testina va a incidere l'alluminio seguendo il filetto sul collo della bottiglia, sigillandola.

Nell'ambito dello sviluppo di prodotti sostenibili si sceglie di modificare il materiale usato sul componente ring. Si è scelto di non eseguire modifiche sul liner o sul cap per diversi motivi: in primis, ragioni tempistiche dovute all'omologazione dei componenti e dei materiali. Il processo è particolarmente lungo per il liner, che essendo a diretto contatto con l'acqua deve superare prove di migrazione molto restrittive, eseguite sia internamente a Guala Closures che dai diversi clienti che utilizzano questa chiusura. Eseguire modifiche sul cap è tanto laborioso quanto superfluo, infatti modificare gli attuali macchinari senza compromettere l'elevata produttività richiesta non è scontato, inoltre si andrebbe a lavorare su macchinari di produzione, compromettendo i ritmi richiesti internamente. Nonostante il trend di rimozione della plastica dal packaging, si sceglie di mantenere il ring in materiale polimerico per ragioni estetiche e funzionali. È possibile infatti mantenere la funzione tamper evident usando solo il cap ed il liner implementando tale funzione sul cap. Esistono già due chiusure di questo tipo: la prima assolve alla funzione lasciando un anello di alluminio sul collo della bottiglia. Il cap è tagliato lungo la circonferenza, lasciando solo otto punti di giunzione con l'anello, che viene rullato sotto la бага durante l'applicazione. Durante l'apertura si stacca, restando agganciato alla бага, come evidenza dell'avvenuta apertura. Tale soluzione risulta esteticamente povera, quindi inadatta al tipo di settore per cui è destinata. La seconda chiusura bicomponente presenta il tamper evident simile a quello in plastica, ovvero con le tre alette che si sollevano in apertura. Tuttavia, tali elementi rischiano di essere taglienti, ed essendo l'alluminio duttile è molto semplice riposizionarli falsificando l'integrità della bottiglia.

Alla luce di questi dettagli, si sceglie di modificare il materiale usato per il ring. Tuttavia, anche in questo caso le criticità sono numerose: la prima è relativa ai tempi ciclo. Il ring viene stampato ad iniezione su degli stampi con 32 cavità, con un tempo ciclo di circa 3 secondi. In prima approssimazione, questo si traduce in un output di 38400 chiusure/ora. Per garantire questi ritmi, i componenti scorrono nelle canaline ad alta velocità, nel caso del ring degli additivi anti-block e slip vengono aggiunti alla formulazione. Tali additivi non possono essere scelti liberamente, ma devono essere approvati dal cliente, restringendo il range di gradi disponibili sul mercato. Altro fattore delicato è legato alle proprietà meccaniche del polimero usato: durante la fase di rimozione della materozza, questa deve opporre una resistenza limitata. Inoltre, subito dopo essere rimossa, questa viene trinciata ed aspirata da un sistema in uscita dal macchinario. Il sistema di smaltimento è tarato su proprietà meccaniche precise, quindi andando a modificarle eccessivamente il rischio è di intasare il sistema di raccolta e trinciatura, bloccando l'intera linea di assemblaggio. Inoltre, la resistenza del materiale deve essere sufficiente da impedire la rottura dei ponticelli di giunzione delle alette nel momento di applicazione, quando viene scavalcata la бага, ma deve essere abbastanza bassa da permettere la rottura dei ponticelli nel momento di apertura della bottiglia. Infatti, la chiusura deve essere rimovibile solo tramite svitamento, senza doverla tirare via. Questo fattore è dato da una combinazione di resistenza a trazione ed allungamento a rottura compresi tra valori ristretti. Inoltre, per garantire un time to market ragionevole, si preferisce tentare prima di modificare solo il materiale, senza modificare la geometria del componente, in quanto modificare tutti gli stampi di produzione richiederebbe tempi e costi non trascurabili.

In figura 2.7 è riportata la geometria del pezzo, con le dimensioni più significative.



**Figura 2.7 - Anellino Spring con quote principali**

Ricollegando le modifiche alla strategia Guala per i prodotti sostenibili riportate nel capitolo 1.3, si percorrono le strade Consume Less e Biodegrade. Nel primo caso si sceglie di testare dei gradi di polietilene a bassa densità prodotti utilizzando il 100% di polimero da fonte rinnovabile, ovvero i gradi "I'm Green" prodotti da Braskem a partire dalla canna da zucchero, in particolare il grado con nome commerciale SPB 681. Questi polimeri sono quasi completamente bio-based, presentano le proprietà di un polimero vergine e per produrre una mt di questo polimero vengono assorbite 2.15 mt di CO<sub>2</sub>eq<sup>[28]</sup>. L'uso di questa classe polimerica può quindi influire notevolmente sulle emissioni di anidride carbonica associate alla produzione di un dato componente, senza impattare sulle risorse fossili. Il grado di LDPE identificato a questo scopo viene inoltre utilizzato come carrier per il master utilizzato per dar colore all'anellino, sviluppato insieme a Polyone.

Nel caso biodegrade si testano invece dei materiali compostabili sviluppati ad hoc in collaborazione con MAIP, produttore di compound di Settimo Torinese. Tali materiali sono delle formulazioni a base PBS, fanno parte della famiglia ORIOS prodotta da questa azienda. In questo caso, se il ring viene separato dal consumatore e gettato nei bidoni della raccolta rifiuti organici, può andare incontro ai processi di biodegradazione, evitando così la possibile formazione di microplastiche.

In tabella 2.1 sono riportate le principali proprietà del materiale standard usato in produzione.

**Tabella 2.1 - Proprietà principali di riferimento**

Proprietà	Valore
<b>Melt Flow Rate</b>	3,2 [g/10 min]
<b>Densità</b>	0,931 [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Carico di rottura (MD/TD)</b>	17,5/15,2 [MPa]
<b>Allungamento a rottura</b>	300 %
<b>Additivi</b>	Erucamide, Silice

### 2.3.2 Mars



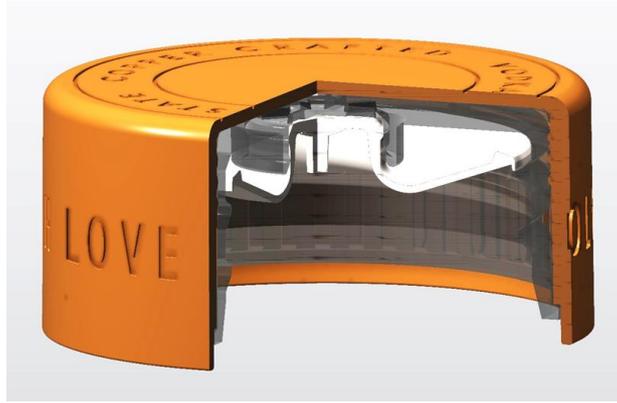
**Figura 2.8** - Esploso della chiusura Mars

In figura 2.8 è possibile vedere la seconda chiusura in analisi, la chiusura Mars. Inizialmente concepita per la vodka Absolut Elyx, un prodotto d'alta gamma di Absolut Company (marchio svedese specializzato in vodka, parte del gruppo Pernod Ricard), per via di un cambio di estetica venne abbandonato. Questa è una chiusura a tre componenti, presenta un filetto tipico dello standard Europeo applicato generalmente a vodka e whisky, in particolare su un diametro da 33 mm. Questa chiusura non presenta funzione tamper-evident.

I componenti sono:

1. **Overcap:** parte con funzione puramente estetica. Il componente è polimerico, stampato ad iniezione. Nella versione originale, i materiali testati erano blend di policarbonato e ABS, un tipo di blend che si presta particolarmente bene per i processi di metallizzazione. Infatti, per dare un aspetto lussuoso, il sovrappacco avrebbe dovuto subire un processo di metallizzazione. Per questo componente si utilizza uno stampo mono-cavità a quattro carrelli, questi ultimi necessari per garantire che le scritte laterali non vengano rovinate durante l'estrazione.
2. **Cap:** componente filettato. Inizialmente concepito in polipropilene, viene stampato ad iniezione su di uno stampo mono-cavità dotato di un particolare sistema di estrazione a svitamento. Questo accorgimento è necessario per evitare di strappare e deformare il filetto. Questo componente presenta diversi sottosquadri tramite cui si effettua l'assemblaggio degli altri due componenti.
3. **Wad:** elemento di tenuta. Inizialmente concepito in LDPE, è il componente a diretto contatto con i liquidi. Si appoggia direttamente alla bocca della bottiglia, tramite la pressione applicata impedisce al liquido contenuto di fuoriuscire.

L'assemblaggio della chiusura viene effettuato per claccaggio, ovvero applicando pressione sui componenti si impone lo scavalcamento dei sottosquadri del cap da parte dei dettagli di overcap e wad in modo irreversibile. Prima vengono assemblati cap ed overcap, quindi si aggiunge il wad. Questa sequenza è necessaria per evitare di applicare forza sul wad con il rischio di deformarlo e comprometterne il funzionamento. Per evitare reciproca rotazione tra cap e overcap, su entrambi i componenti sono presenti delle tacche anti-rotazione. Non essendo un prodotto entrato in produzione, i campioni in analisi vengono assemblati manualmente. In figura 2.9 è visibile uno spaccato dei tre componenti assemblati.



**Figura 2.9** – Spaccato della chiusura Mars assemblata

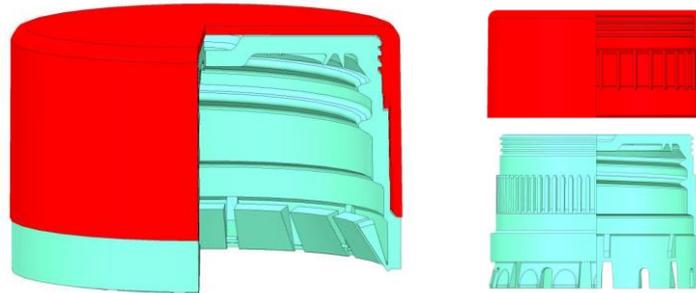
L'applicazione avviene per semplice avvitamento.

Nell'ambito dello sviluppo di prodotti sostenibili, si sceglie di lavorare su questo prodotto per diverse ragioni. In primis, essendo stati effettuati investimenti considerevoli nello sviluppo di questa chiusura, è ragionevole trovare una nuova destinazione per poter ammortizzare le spese fatte. Le eventuali modifiche sulle figure sarebbero limitate al pilota, senza interferenze con un eventuale aggiornamento delle figure in produzione (limite che, come già accennato, si pone per la chiusura Spring). Essendo destinata ad un tipo di filetto largamente usato in Europa, è fin da subito proponibile ai clienti senza dover richiedere modifiche sulle bottiglie, quindi implementabile in tempi più brevi e con investimenti minori da parte del cliente stesso. Inoltre, questo prodotto è facilmente customizzabile, in quanto essendoci un componente puramente estetico, è possibile ottenere decorazioni specifiche modificando semplicemente le guance laterali e la decorazione di testa. Dal punto di vista operativo questa chiusura è più semplice da trattare rispetto alla spring, infatti viene modificata sulla base dei requisiti standard Guala, senza vincoli dovuti a sistemi produttivi già attivi. Infine, cap e wad di questa chiusura sono molto simili a diversi prodotti standard attualmente venduti, per questo testando nuove classi di materiali su questa chiusura, imparando ad usarli correttamente e individuandone pregi e difetti, si crea la conoscenza giusta per applicare le strade sostenibili ad altri prodotti simili più prontamente.

Ricollegandosi alla strategia Guala per lo sviluppo di prodotti sostenibili, si sceglie di percorrere le strade Recycle, Consume Less e Biodegrade. Le prime due strade vengono trattate contemporaneamente: per rendere il prodotto riciclabile si sceglie di renderlo mono-materiale, ovvero si sceglie di utilizzare solo gradi provenienti dalla stessa famiglia di polimeri. Quindi i tre componenti verranno prodotti in polietilene, in particolare il wad resterà in LDPE, gli altri due componenti invece verranno stampati in HDPE. I gradi selezionati per questo scopo sono i PE l'm Green prodotti da Braskem, derivati dalla canna da zucchero, in particolare i gradi LDPE SPB 681 e HDPE SHC 7260. L'output dovrebbe essere una chiusura riciclabile, se gettata nei rifiuti in modo corretto, con valore aggiunto dato da materiali prodotti assorbendo CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Per il sovrappacco viene creata una nuova estetica adatta alla presentazione ai clienti, sviluppando quattro masterbatch su base bio-LDPE. Diversamente dalla versione originale, il sovrappacco non viene metallizzato, in quanto da un punto di vista estetico la metallizzazione non risponde alla sensazione di prodotto "green" che si vuole trasmettere ai clienti, in quanto associata al concetto di lusso.

Nel caso biodegrade si testa invece un materiale compostabile sviluppato ad hoc in collaborazione con MAIP, produttore di compound di Settimo Torinese. Tale materiale è una formulazione di PBS. Nell'ambito del lavoro di tesi, questo materiale sarà testato solo sul componente wad, scelta dovuta a molteplici fattori: questo componente è il più delicato da sviluppare essendo a diretto contatto col liquido, se le proprietà meccaniche adatte non vengono raggiunte da questo componente, non ha senso procedere con gli altri due. Inoltre, non essendo mai stati applicati polimeri compostabili in questo settore, non è nota la tendenza di migrazione degli elementi del polimero in liquidi alcolici, tantomeno la resistenza di questi materiali a bevande come whisky o vodka. Pertanto, a seconda del risultato dei test preliminari, vengono tratte conclusioni sull'effettiva possibilità di adottare questa classe di materiali nel settore del beverage oppure no.

### 2.3.3 Bikini



**Figura 2.10 - Chiusura Bikini**

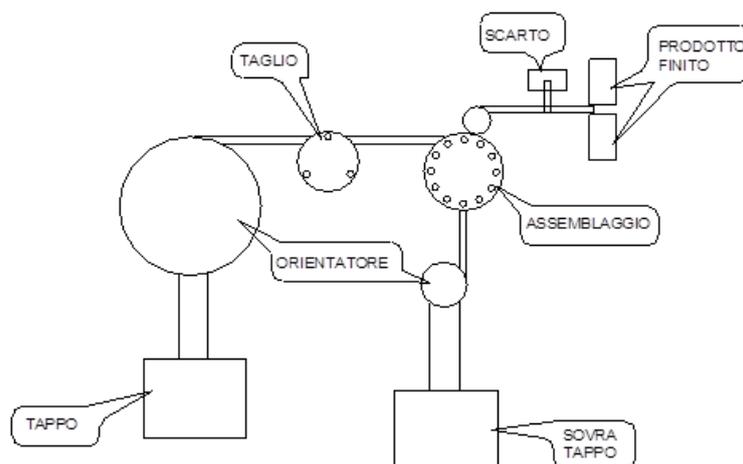
In figura 2.10 è riportata la chiusura Bikini. Questa è destinata prevalentemente alla vodka, è disegnata per bottiglie con filetto standard nord-Americano di diametro 28 mm.

I componenti sono:

1. **Overcap:** sovratappo con funzione estetica. Il materiale è un blend PC/ABS, scelto in quanto particolarmente adatto a processi di metallizzazione. Questo è stampato ad iniezione, in stampi a otto cavità. A seconda della richiesta del cliente, il sovratappo può essere metallizzato o colorato con masterbatch.
2. **Cap:** tappo, assolve sia alla funzione di tenuta che di tamper-evident. Stampato ad iniezione in una macchina con 16 cavità, il materiale è PP, colorato con diversi masterbatch a seconda dell'esigenza. La funzione di tenuta è assolta da due bavette che si appoggiano sulla bocca della bottiglia per tutta la circonferenza, mentre la funzione TE è assolta da un anello che, durante l'apertura della bottiglia, si stacca, restando sul collo della bottiglia. Questo è dovuto a una serie di alette che, durante la fase di assemblaggio vengono risvoltate verso l'interno della chiusura. Durante l'applicazione sulla bottiglia, queste alette scavalcano una бага incastrandosi al di sotto di essa. È fondamentale che le alette siano correttamente posizionate durante l'assemblaggio, in quanto darebbero problemi nelle fasi di applicazione e in funzionamento.

I componenti, in seguito allo stampaggio, vengono inviati all'assemblaggio. Il tappo, prima di essere unito al sovratappo, passa in una stazione di taglio, in cui tramite delle lame, si effettuano dei tagli subito sopra il TE, in modo da creare l'indebolimento che, durante l'apertura, permetterà il distaccarsi dell'anello. In questa stazione vengono anche risvoltate le alette. Quindi, si passa alla stazione di assemblaggio con l'overcap, in cui tramite claccaggio, i due componenti vengono uniti. Entrambi i pezzi hanno delle tacche antirotazionali che impediscono la rotazione reciproca dei due componenti. In figura 2.11 si riporta il diagramma di assemblaggio. L'applicazione avviene per avvitamento semplice.

Nell'ambito dello sviluppo di prodotti sostenibili, si sceglie di lavorare su questo prodotto in quanto si tratta di una chiusura semplice, che presenta un filetto standard ampiamente usato negli Stati Uniti. Come tale, le opportunità di rinnovarlo e inserirlo nel mercato sono ampie. Come nel caso della chiusura Mars, il sovratappo può essere facilmente adattato presentando nuove decorazioni in testa, in base alle esigenze dei clienti. Questa chiusura quindi si affianca alla Mars, ponendola come alternativa sostenibile dedicata al mercato americano.



**Figura 2.11** - Schema della linea di assemblaggio

Ricollegandosi alla strategia Guala per lo sviluppo di prodotti sostenibili, si sceglie di percorrere le strade Recycle e Consume Less. Come nel caso Mars, le due strade vengono trattate contemporaneamente: per rendere il prodotto riciclabile si sceglie di renderlo mono-materiale, ovvero si sceglie di utilizzare solo gradi provenienti dalla stessa famiglia di polimeri. Quindi i due componenti verranno prodotti in polietilene ad alta densità. I gradi selezionati per questo scopo sono i PE l'm Green prodotti da Braskem, derivati dalla canna da zucchero, in particolare si testa il grado SHC 7260 su entrambi i componenti. L'output dovrebbe essere una chiusura riciclabile, se gettata nei rifiuti in modo corretto, con valore aggiunto dato da materiali prodotti assorbendo CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Per il sovrappacco viene creata una nuova estetica adatta alla presentazione ai clienti, sviluppando quattro masterbatch su base bio-LDPE, utilizzati per dar colore anche al tappo. Diversamente dalla versione originale, non si prevede di metallizzare il sovrappacco, in quanto da un punto di vista estetico la metallizzazione non risponde alla sensazione di prodotto "green" che si vuole trasmettere ai clienti, in quanto associata al concetto di lusso.

In tabella 2.2 sono riportate le principali proprietà dei materiali attualmente usati in produzione, presi come riferimento per le nuove modifiche.

**Tabella 2.2** - Proprietà principali materiali standard Bikini

Proprietà	PP	ABS / PC
Melt Flow Rate [g/10 min]	12 (2,16 kg applicati)	13,8 (5 kg applicati)
Densità [g/cm <sup>3</sup> ]	0,905	1,150
Modulo elastico [MPa]	1550 (a flessione)	2300 (a trazione)
Carico di snervamento [MPa]	ND	55
Carico di rottura [MPa]	ND	48

### 2.3.4 Proprietà generali dei materiali usati

Si riportano in tabella 2.3 le principali proprietà dei materiali usati, riassumendo quale materiale verrà testato su quale componente. In particolare, si riportano il nome commerciale, la classe di appartenenza, densità, MFI, carico ed allungamento a rottura (per LDPE SPB 681, che essendo destinato tipicamente per film, si riporta in scheda la caratterizzazione tipica per questi semilavorati), nel caso del HDPE carico e allungamento a snervamento, ed infine componente su cui si testerà il materiale. Le schede tecniche complete sono riportate in Appendice I.

**Tabella 2.3 - Proprietà materiali usati e destinazione**

Sigla	Classe	Densità [g/cm <sup>3</sup> ]	MFI [g/10min]	Carico snervamento [MPa]	Allungamento snervamento [%]	Carico rottura [MPa]	Allungamento rottura [%]	Project
SPB 681	BIO-PE	0,922	3,8	-	-	(MD/TD) 30/20	(MD/TD) 370/1070	Ring Spring, Wad Mars
SHC 7260	BIO-PE	0,959	7,2	30	7,5	-	-	Cap e Overcap Bikini, Cap e Overcap Mars
ORIOS M27DF	PBS	1,24	22	-	-	25	450	Wad Mars
ORIOS M61929	PBS	1,25	5	-	-	32	290	Ring Spring
ORIOS M52717	PBS	1,25	22	-	-	30	310	Ring Spring
ORIOS M27DF 116	PBS	1,28	15	-	-	20	240	Ring Spring
ORIOS M27DF 224	PBS	1,31	20	-	-	20	240	Ring Spring

## 2.4 Metodologia GSTM

I componenti e gli assemblati vengono testati seguendo la Guala Standard Testing Method, un insieme di test che vanno a studiare il funzionamento dei prodotti simulando le possibili diverse situazioni a cui una chiusura può essere sottoposta nel ciclo vita. I test GSTM sono numerosi, talvolta specifici per situazioni estreme (ad esempio test ad elevate temperature, simulanti condizioni equatoriali), talvolta esplicitamente richiesti dai clienti. Nell'ambito di questa tesi, solo i test generali vengono considerati, in quanto sufficienti per valutare la validità di una chiusura, almeno in ambito preliminare.

### 2.4.1 Strumentazione usata

Per meglio comprendere la metodologia GSTM si riportano di seguito gli strumenti generalmente usati per testare le chiusure.

**Torque master:** strumento utilizzato per misurare la coppia applicata su di un oggetto. Presenta una pedana, con display in cui misurare i valori e scegliere l'unità di misura, ed una morsa con quattro paletti in gomma. I quattro paletti possono essere montati e smontati con una brugola, per portarli alla posizione più adatta per posizionare correttamente la bottiglia. Questo strumento viene usato per misurare la coppia applicata in numerose prove GSTM, in quanto permette di quantificare gli sforzi necessari per aprire una chiusura. Lo strumento è riportato in figura 2.12.

**Macchina tappatrice:** con questo termine si intende la strumentazione usata per applicare la chiusura su bottiglia. Per ogni tipo di chiusura esiste un tipo di strumentazione diversa: per quelle applicate per avvitamento semplice, si usa un mandrino che applica la chiusura con coppia e carico verticale determinati. Nel caso di chiusure in alluminio invece la macchina tappatrice presenta delle testine che vanno a deformare l'alluminio plasticamente seguendo il filetto della bottiglia o altri dettagli. Anche in questo caso, i parametri come le forze applicate e le velocità sono definiti per ogni chiusura. Questo

tipo di strumentazione simula gli strumenti usati nelle linee di imbottigliamento. Si riporta in figura 2.13 un esempio di macchina tappatrice dotata di testina rullatrice.



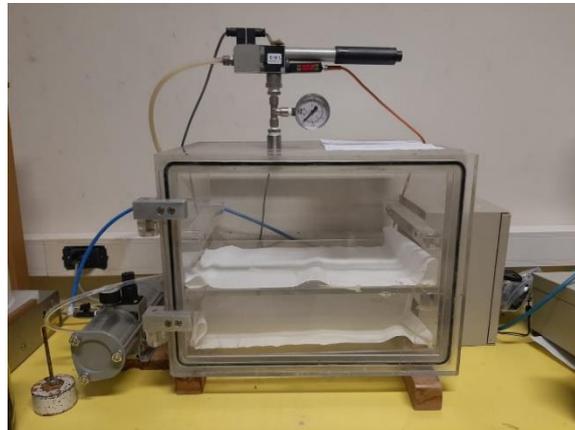
**Figura 2.12 - Torque Master**



**Figura 2.13 - Macchina tappatrice con testina rullatrice**

**Soluzione idroalcolica:** soluzione colorata di blu, presenta il 40% volumetrico di alcol. Questa soluzione viene usata in fasi preliminari per simulare il contenuto alcolico di diverse bevande superalcoliche, la colorazione serve come evidenza per le prove di tenuta. In fasi più avanzate, viene sostituita da alcolici di riferimento, come Vodka, Whisky, Gin, Cognac e Tequila, e altri liquidi ancora, che vanno a simulare in modo più preciso il comportamento chimico del prodotto finale.

**Pompa a vuoto:** strumento usato per generare il vuoto in una camera di determinate dimensioni. Per quanto specifico, questo strumento viene utilizzato per simulare le condizioni di pressione che si possono generare durante il trasporto delle bottiglie in aereo. In figura 2.13 si riporta la macchina usata. La carta assorbente sui ripiani serve per assorbire eventuale liquido perduto.



**Figura 2.13 - Pompa a vuoto**

**Forno/camera climatica:** strumentazione usata per portare a temperature elevate le chiusure e/o le bottiglie. Questa operazione va a simulare le condizioni climatiche che si possono riscontrare durante periodi caldi, come la stagione estiva, oppure la condizione tipica di alcune aree di vendita caratterizzate da climi più caldi.

**Freezer:** analogamente al forno, il freezer permette di simulare le condizioni di conservazione tipiche di alcuni alcolici, o di raggiungere le temperature basse caratteristiche di alcune zone produttive, come paesi di Nord ed Est Europa.

**Dinamometro:** macchina utilizzata per effettuare prove di trazione. Nello specifico caso Guala, si usa per verificare che applicando un carico assiale di trazione la chiusura non venga via dalla bottiglia interamente o si smonti, se non con carichi elevati. In figura 2.14 è possibile vedere il dinamometro usato per i test.

**Attrezzi di trazione:** insieme di ganasce di forme e dimensioni varie, usate nelle prove col dinamometro per agganciare la chiusura o suoi componenti, in modo da effettuare correttamente le prove. In figura 2.14 sono visibili due esempi di tale strumento, specifici per due chiusure diverse. Tali attrezzi sono sagomati in modo da far presa su punti precisi della chiusura o dei componenti.



**Figura 2.14 – Dinamometro (a sinistra) e attrezzi di trazione (a destra)**

## 2.4.2 Prove GSTM

I test sono classificati come segue:

- **Prove di apribilità:** serie di prove atte a misurare i valori di apertura e richiusura delle chiusure. In questa categoria rientrano test di apertura, il cui fine è quello di valutare se la forza necessaria per aprire una chiusura è adeguata, ovvero né troppo alta né troppo bassa (a seconda della chiusura usata, la coppia applicata può variare dai 20 ai 35 lbf.in); prove di scavalamento filetto, in cui si valuta la forza necessaria per scavalcare il filetto in chiusura; prova di rotazione tra componenti, in cui si valuta la forza necessaria per portare i componenti in rotazione relativa;
- **Prove di tenuta:** serie di prove atte a valutare la funzione sigillante del tappo, ovvero, imponendo diverse condizioni termiche, si controlla se è fuoriuscito del liquido oppure no. I cicli termici simulano condizioni a cui una chiusura può andare incontro nel proprio ciclo vitale, dalle temperature raggiungibili in periodo estivo, alle condizioni di freddo dei paesi dell'Est Europa. In caso di esito negativo, vengono effettuate tomografie alla chiusura applicata per indagare le cause della perdita;
- **Prove di funzionamento TE:** prove atte a valutare il corretto funzionamento del tamper evident (quando presente);
- **Prove di inscalzabilità e resistenza a smontaggio:** rientrano in questa categoria: prove di scalzamento, in cui, tramite un dinamometro, si applica una trazione assiale alla chiusura montata su bottiglia, per valutare se il componente si smonta, se la chiusura viene via dalla bottiglia, ed in che modo si rompe (per garantire l'impossibilità di riapplicare la chiusura, come metodo anticontraffazione); scampanamento, ovvero prove di movimentazione manuale che simulano gli spostamenti della bottiglia se afferrata dal tappo;
- **Prove di carico statico:** prove in cui si valuta la resistenza della chiusura in caso di applicazione di un carico verticale, simulando i periodi di stoccaggio delle bottiglie. Infatti, è possibile che diversi scatoloni vengano impilati, ponendo le bottiglie ad una sollecitazione compressiva. Se mal progettata, la chiusura rischia di rompersi o criccarsi, perdendo di proprietà;
- **Prove dimensionali:** si misurano peso e dimensioni dei componenti per verificare che questi rientrino nelle tolleranze di progetto (mediamente  $\pm 0,1$  mm, anche se a seconda della quota e degli accoppiamenti le tolleranze variano).

Per ogni componente inoltre si analizza il comportamento durante lo stampaggio ad iniezione, e nel caso dell'assemblaggio sulla linea di produzione si verifica il comportamento nelle macchine.

Di seguito si riportano i nomi e gli obiettivi delle prove GSTM. La metodologia completa, con strumentazione necessaria e sequenza delle operazioni da eseguire viene riportata in Appendice II.

**Determinazione dei valori di apertura:** l'obiettivo della prova è la determinazione dei valori di coppia applicata necessaria per aprire una chiusura. In questo modo si verifica se una chiusura rientra nei parametri definiti dalle specifiche tecniche, oppure nel caso di chiusure in cui parametri non siano definiti (come nel caso di Mars), questo tipo di prova permette di definirli.

**Determinazione dei valori di apertura a -30°C:** l'obiettivo della prova è la determinazione dei valori di coppia applicata necessaria per aprire una chiusura dopo una permanenza a bassa temperatura. Prova di carattere secondario rispetto a quella effettuata a temperatura ambiente, si verifica il funzionamento di una chiusura simulando la conservazione in freezer (situazione tipica per la vodka).

**Funzionalità Tamper Evident per una chiusura generica:** l'obiettivo della prova è la determinazione del comportamento del Tamper Evident durante e dopo la prima apertura. Prova di grande importanza, permette di verificare l'efficacia di un sistema TE e spesso porta alla luce difetti legati ad altri aspetti della produzione.

**Tenuta a temperatura ambiente:** l'obiettivo della prova è la valutazione dell'entità delle perdite della chiusura dopo una permanenza a temperatura ambiente (18-25°C). Prova che permette di verificare il comportamento della chiusura in fase preliminare. Se gli esiti sono positivi si procede con prove analoghe effettuate a temperature diverse.

**Tenuta a ciclo termico standard:** l'obiettivo della prova è la valutazione dell'entità delle perdite della chiusura dopo un ciclo termico. Dato che le bottiglie di acqua e alcolici subiscono numerose variazioni

di temperatura fin dal momento dell'imbottigliamento, è opportuno verificare che il ripetersi di variazioni dimensionali dovute all'espansione termica non comprometta il funzionamento della chiusura. La prova è di carattere secondario rispetto a quella effettuata a temperatura ambiente.

**Tenuta durante la permanenza sottovuoto:** l'obiettivo della prova è la valutazione dell'entità delle perdite della chiusura dopo una permanenza a basse pressioni, simulando le condizioni che possono verificarsi durante un trasporto aereo. La prova è di carattere secondario rispetto a quella effettuata a temperatura ambiente.

**Tenuta per 24h a -20°C:** l'obiettivo della prova è la valutazione dell'entità delle perdite dopo una permanenza di 24 ore a -20°C, simulando la conservazione delle bottiglie in freezer. La prova è di carattere secondario rispetto a quella effettuata a temperatura ambiente.

**Tenuta per 24h a 40°C:** l'obiettivo della prova è la valutazione dell'entità delle perdite dopo una permanenza di 24h a 40°C, simulando la condizione che si può verificare in alcune aree di vendita. La prova è di carattere secondario rispetto a quella effettuata a temperatura ambiente.

**Scalzamento chiusura a temperatura ambiente:** l'obiettivo della prova è il grado di inscalzabilità della chiusura, ovvero si verifica la forza necessaria per rimuovere la chiusura solo tramite sforzo di trazione, e gli effetti che questa rimozione ha sulla chiusura.

**Scalzamento si componenti della chiusura:** è obiettivo della prova definire la resistenza allo smontaggio/scalzamento dei componenti con cui è montata la chiusura.

**Determinazione dei valori di scavalco filetto:** obiettivo della prova è la determinazione della coppia necessaria per causare lo scavalco del filetto in fase di richiusura.

**Resistenza a rotazione tra componenti della chiusura:** l'obiettivo della prova è la determinazione della resistenza allo scavalco tra i componenti della chiusura. Se i componenti dovessero ruotare tra loro, si riscontrerebbero difficoltà nell'apertura della bottiglia, con conseguente insoddisfazione del consumatore.

**Resistenza al carico statico:** l'obiettivo della prova è la determinazione della resistenza all'applicazione di un carico verticale, simulando le condizioni di stoccaggio delle bottiglie.

**Scampanamento manuale:** l'obiettivo della prova è la determinazione della resistenza allo smontaggio/scavalco della chiusura e dei suoi componenti dalla bottiglia simulando una movimentazione manuale. Capita infatti che la bottiglia venga presa dalla chiusura, che se non dovesse essere abbastanza resistente, si smonterebbe facendo cadere il prodotto.

**Compatibilità tecnica tra semilavorati:** l'obiettivo della prova è la determinazione della compatibilità di un materiale con il liquido da imbottigliare dal punto di vista delle aggressioni. Capita talvolta che alcuni alcolici, per via della composizione chimica, corrodano il materiale a contatto, nel caso di materiali nuovi è opportuno verificare che questo non accada.

**Rilevi dimensionali e di peso:** l'obiettivo della prova è la verifica della conformità dei componenti alle specifiche di dimensioni e peso.

**Tomografie:** scansioni ai raggi X delle chiusure, effettuate su 3 dimensioni. Il macchinario usato è un tomografo Nikon XT H 225. Non si tratta di una prova GSTM, tuttavia è utile poter avere una scansione completa di una chiusura applicata su bottiglia per vedere come si posiziona. Usata spesso per identificare malfunzionamenti come perdite di liquido.

### 2.4.3 Programma prove

In tabella 2.4 si riporta il programma delle prove applicate ad ogni chiusura. A seconda degli esiti, le prove potranno essere ripetute su nuovi compound oppure no. In particolare:

- per la chiusura Spring si effettuano la prova TE, l'assemblaggio in macchina e le misure dimensionali, in quanto si testano nuovi materiali solo sul componente Ring. In tabella, si divide tra Spring Biobased (ovvero i compound di bio-PE) e Spring Compostabile (ovvero i compound

Orios). Essendo disponibile la linea di assemblaggio, i componenti vengono assemblati su di questa;

- per la chiusura Mars si effettuano tutte le prove ad eccezione dell'assemblaggio in macchina (in quanto non esiste tale strumento per questa chiusura) e la prova TE (in quanto funzione non presente nella chiusura). In tabella, si divide tra Mars Biobased (ovvero i compound di bio-PE) e Mars Compostabile (in questo caso, il compound Orios è testato solamente sul componente Wad);
- per la chiusura Bikini si effettuano tutte le prove ad eccezione della prova di compatibilità tecnica su semilavorati. I componenti vengono assemblati in linea.

**Tabella 2.4 - Programma prove**

	Spring Biobased	Spring Compostabile	Mars Biobased	Mars Compostabile	Bikini Biobased
Dimensioni e peso	✓	✓	✓	✓	✓
Apertura	✓	✓	✓	✓	✓
Apertura -30°C	✗	✗	✓	✓	✓
Tamper Evident	✓	✓	✗	✗	✓
Tenuta Ciclo STD	✗	✗	✓	✓	✓
Tenuta T <sub>a</sub>	✗	✗	✓	✓	✓
Tenuta Sottovuoto	✗	✗	✓	✓	✓
Tenuta -20°C	✗	✗	✓	✓	✓
Tenuta 40°C	✗	✗	✓	✓	✓
Scalzamento	✗	✗	✓	✗	✓
Scalzamento Componenti	✗	✗	✓	✗	✓
Scavalcamento Filetto	✗	✗	✓	✗	✓
Resistenza Rotazione	✗	✗	✓	✗	✓
Carico Statico	✗	✗	✓	✗	✓
Scampanamento	✗	✗	✓	✗	✓
Compatibilità	✗	✗	✗	✓	✗

## 3. Risultati

In questo capitolo si riassumeranno i risultati delle prove effettuate con i diversi materiali, dando maggiore attenzione là dove le prove hanno avuto esiti negativi, analizzando cause e soluzioni, mentre le tabelle con i risultati completi sono riportate in Appendice III. I risultati verranno esposti per ordine di progetto, partendo dalle prove di stampaggio ad iniezione, passando poi alle prove GSTM.

### 3.1 Spring Biobased

In questo progetto si è testato LDPE l'm Green SPB 681 della Braskem, un polietilene biobased prodotto a partire dalla canna da zucchero, sul componente ring. È stata effettuata una serie di prove preliminari col polimero vergine, quindi test più approfonditi sono stati eseguiti aggiungendo un master di colore bianco, prodotto usando come base lo stesso LDPE SPB 681 e pigmentato con titanina.

La prova di stampaggio sul polimero tal quale è stata effettuata sullo stampo pilota disponibile presso l'officina della ricerca e sviluppo dello stabilimento, la pressa usata è una Engel da 20 tonnellate. Il range di temperature impostate parte da 160°C sul cilindro e cresce fino ai 185°C impostati sull'ugello, il tempo di iniezione è di circa 0,18 secondi con un picco di pressione di 1175 bar, un tempo di postpressione di 1,5 secondi da 675 a 600 bar, lo stampo è condizionato a 15°C, il tempo ciclo ottenuto è di circa 7,5 secondi. Nelle condizioni di produzione il tempo ciclo è di circa 3,0 secondi. Questa differenza è dovuta a impostazioni differenti nel ciclo standard, e soprattutto alle presse utilizzate in produzione, tecnologicamente nettamente più avanzate rispetto a quelle disponibili in officina. Inoltre, al materiale di produzione è aggiunta Erucamide, uno scivolante che favorisce il processo di stampaggio. Trascorrendo il tempo ciclo, in cui si presume sia possibile ottenere un ampio margine di miglioramento modificando i parametri di ciclo e additivando il materiale con scivolanti standard, l'esito della prova è stato positivo, infatti non sono stati riscontrati problemi in estrazione e ad una prima analisi visiva non sono state evidenziate deformità o risucchi, anche se è stata notata una differenza rispetto agli anellini stampati in produzione: lungo la parte esterna delle alette sono evidenti una serie di solchi che percorrono tutta la circonferenza, attribuiti ad una diversa finitura superficiale impartita durante la lavorazione meccanica della figura. I suddetti solchi non hanno dato problemi in fase di estrazione.

Dato che la figura dello stampo pilota è progettata considerando i ritiri tipici del PE, si è preferito saltare l'analisi dimensionale del componente per procedere direttamente con l'assemblaggio in macchina, in modo da poter verificare subito il corretto funzionamento. Per quanto riguarda le misure si è supposto che lo scostamento dalle tolleranze di progetto, se presenti, sarebbero contenute, quindi risolvibili anch'esse operando sui parametri della pressa come pressione di mantenimento o dosaggi. L'assemblaggio degli anellini è andato a buon fine, non sono stati riscontrati problemi di funzionamento della macchina o errori nelle fasi coinvolgenti il componente. Essendo stati assemblati solamente un paio di centinaia di componenti non si può considerare la prova di assemblaggio valida in modo definitivo: montare un tal numero di componenti richiede in realtà pochi secondi (considerando un output approssimativo di 38400 pezzi all'ora, per montare 200 anellini si impiegano circa 17 secondi), un tempo troppo breve per evidenziare problemi di scorrimento sulle canaline o tra i componenti stessi. In fase preliminare il risultato è accettabile, tuttavia in fasi di validazione del progetto i numeri devono essere aumentati consistentemente per poter verificare l'effettivo comportamento in fase di assemblaggio. In figura 3.1 è visibile l'assemblato con l'anello trasparente.

L'ultima prova preliminare eseguita sul bio-PE neutro è la prova di funzionamento del tamper evident, che nel caso della chiusura Spring prevede che i ponticelli di giunzione delle alette non si rompano in fase di applicazione sulla bottiglia, e che se ne rompano almeno due nella fase di apertura. La prova GSTM prevede che vengano testate cinquanta chiusure, tuttavia se nell'eseguire la prova non vengono riscontrate fluttuazioni evidenti nei risultati, si può limitare il test ad una ventina di campioni. In questo caso ne sono stati provati ventitré, di cui solamente uno ha mostrato comportamento scorretto, per

questo la prova è considerata passata. In figura 3.2 sono riportate le foto della chiusura applicata su bottiglia prima e durante l'apertura.



**Figura 3.3** - Assemblato spring con LDPE SPB 681 neutro



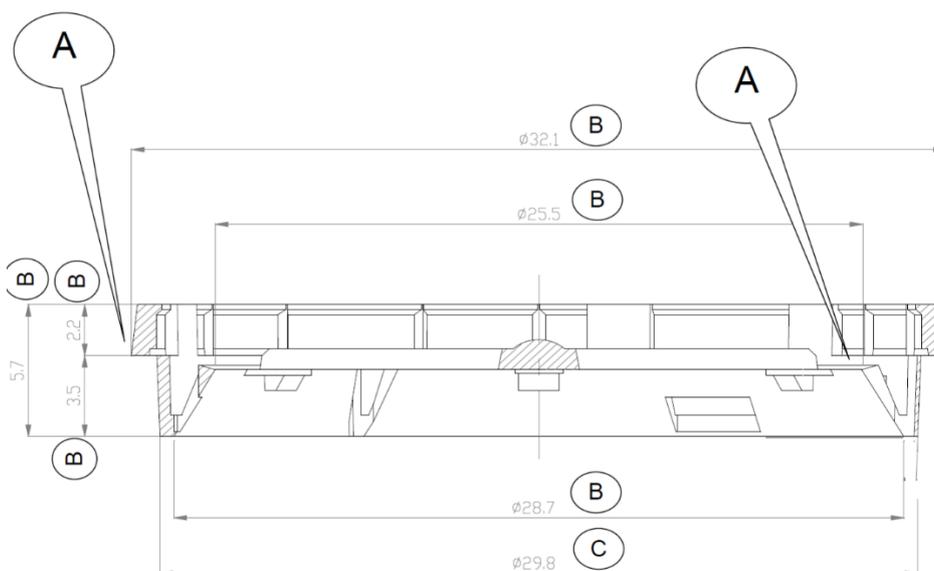
**Figura 3.4** - Chiusura applicata prima dell'apertura (a sinistra) e durante l'apertura con le alette alzate (a destra)

Dato che i risultati ottenuti sono stati soddisfacenti si è scelto di proseguire con analisi più approfondite sviluppando ulteriormente il materiale. In particolare, si è proceduto testando il materiale additivato con master bianco, della tonalità tipicamente usata negli anellini standard. Come carrier per il colore si è scelto di usare lo stesso LDPE SPB 681 in modo da poter garantire il contenuto più alto possibile di polimero da fonte rinnovabile. Il master è stato formulato da Polyone, come pigmento si è utilizzata la titania. Tale master è da additivare al 2% al polimero vergine. Generalmente master e polimero vengono direttamente miscelati nella macchina di stampaggio, tuttavia in questo particolare caso si è scelto di lavorare la formulazione già compoundata, in modo da garantire la migliore omogeneità possibile. I granuli di compound sono stati forniti da Frilvam, in quanto Guala Closures non dispone di estrusori.

La prova di stampaggio è stata eseguita sullo stesso stampo pilota usato in precedenza. Le condizioni di stampaggio sono le stesse impostate sul polimero neutro, con la stessa pressa e lo stesso stampo. Anche in questo caso si prevedono margini di diminuzione del tempo ciclo apportando modifiche nei parametri e additivando con scivolanti. Inoltre, pure in seguito a questa prova sono stati trovati i solchi sulla superficie esterna delle alette, che non hanno nuovamente dato problemi.

In questo caso sono state effettuate le misure dimensionali, misurando le quote di riferimento, riportate in figura 3.3. Trattandosi di una fase preliminare del progetto, le misure sono state effettuate solamente su tre campioni, in quanto, anche se pochi, sono considerati sufficienti come riferimento per il lotto. In seguito a queste misurazioni, è risultato che mentre il diametro esterno massimo, l'altezza esterna e l'altezza totale rientrano nelle tolleranze, il diametro del sottosquadro ed il diametro esterno della base

sono fuori tolleranza. In particolare, entrambe le dimensioni risultano maggiori rispetto alla quota di progetto, la prima di 0,13 mm, la seconda di 0,07 mm. Per meglio comprendere il risultato, è opportuno confrontare queste misure con quelle effettuate su degli anellini stampati con il materiale standard sullo stesso pilota: tutte le quote rientrano nelle tolleranze di progetto, ma il dettaglio più rilevante è che sono tutte minori rispetto a quelle rilevate sul Bio-PE in esame. In prima approssimazione, si può dedurre che i ritiri dei due materiali sono differenti, ma non in modo significativo. In particolare, il Bio-PE sembra ritirare meno del polietilene di produzione, ma non si deve trascurare anche la differenza tra i parametri di ciclo applicati, differenza che potrebbe influire sulle dimensioni finali dei campioni. In tabella 3.1 sono riportate le quote medie rilevate, lo scostamento dalle tolleranze e le quote rilevate durante le misurazioni di routine sul materiale standard. Complessivamente, dato che gli scostamenti rilevati sono comunque contenuti, i campioni sono risultati accettabili, quindi adatti ai test successivi.



**Figura 3.5 - Quote di riferimento anellino Spring**

**Tabella 3.1 - Valori medi rilevati sul ring in SPB 681 bianco, con confronto rispetto alle tolleranze standard**

	Ø esterno massimo [mm]	Ø sottosquadro [mm]	Ø esterno base [mm]	Altezza esterna [mm]	Altezza totale [mm]
Quote previste	32,10±0,15	25,50±0,15	29,86±0,10	2,20±0,10	5,70±0,15
Misura media su SPB 681	32,22	25,78	30,03	2,18	5,71
Esito prova	OK	+0,13	+0,07	OK	OK
Ultime misure materiale std	31,85 -31,96	25,35 - 25,48	/	/	5,75 - 5,84

Anche in questo caso si è proceduto con l'assemblaggio in macchina. Diversamente dalla prova precedente, è stato assemblato un numero più consistente di campioni, circa 2500. La prova ha avuto esito positivo, non sono stati riscontrati problemi di alcun tipo nelle fasi in cui l'anellino è coinvolto. Tuttavia, anche con 2500 pezzi la prova non è da considerarsi valida in modo definitivo: in quanto per assemblare questi componenti sono stati necessari meno di quattro minuti. Le considerazioni fatte sulla

versione senza master sono da fare anche in questo caso, per evidenziare problemi legati allo scorrimento o alla rimozione e smaltimento delle materozze dovrebbero essere assemblati numeri più significativi. Si riporta in figura 3.4 la chiusura assemblata.



**Figura 3.6** - Chiusura Spring con ring in Bio-PE bianco

I test sull'anellino in Bio-PE caricato con il 2% di master si sono concluse con le prove di funzionamento Tamper Evident. Sono stati provati 20 campioni, tutti con esito positivo: in applicazione sulla bottiglia nessun ponticello si è rotto, mentre in fase di apertura si sono aperti tutti correttamente. In figura 3.5 è visibile la chiusura assemblata su bottiglia prima e durante l'apertura. In tabella 3.2 sono riassunti gli esiti delle prove relative alla spring biobased nelle versioni con e senza master. Infine, si ricorda che i risultati completi relativi a questa chiusura sono visibili in Appendice III, in particolare nelle tabelle III.1 e III.2.



**Figura 3.7** - Chiusura spring con LDPE SPB 681 bianco prima (sinistra) e durante (destra) l'apertura.

**Tabella 3.2** - Riassunto degli esiti delle prove con Bio-PE

Materiale	Stampaggio	Dimensioni	Assemblaggio	Applicazione	TE
<b>SPB 681</b>	OK (Migliorabile)	/	OK (con riserva)	OK	OK
<b>SPB 681 bianco</b>	OK (Migliorabile)	OK	OK (con riserva)	OK	OK

## 3.2 Spring Compostabile

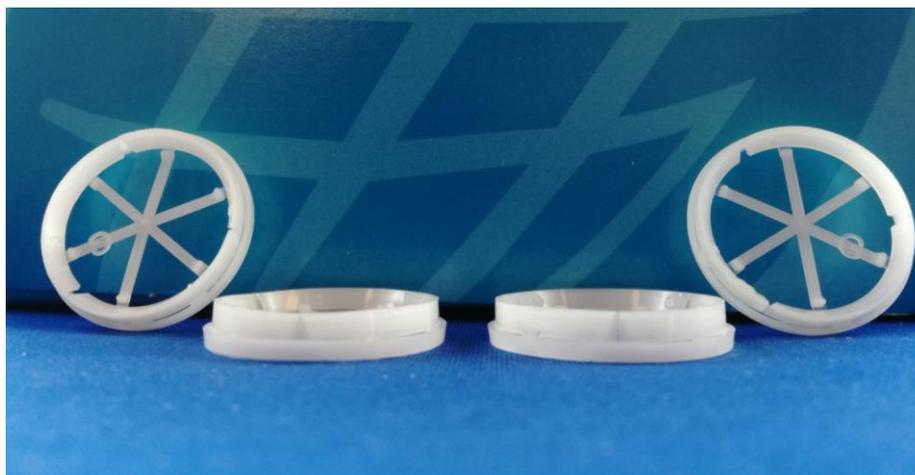
Per questo progetto, sono state provate in totale quattro formulazioni di PBS, sviluppate insieme a MAIP, un fornitore di Settimo Torinese. Diversamente dal caso precedente, gli esiti sono stati controversi, per questo le formulazioni testate sono più numerose, in particolare dopo aver provato le prime due formulazioni, la ORIOS B7 M52717 e la ORIOS B7 M61929, con esito negativo, sono state tentate due nuove formulazioni, la ORIOS B7 M27DF 116 e la ORIOS B7 M 27DF 224.

La prova di stampaggio sui primi due materiali (M52717 e M61929) è stata effettuata sullo stampo pilota disponibile presso l'officina R&D, sulla pressa Engel da 20 ton. In entrambi i casi, i parametri sono estremamente diversi rispetto al ciclo standard applicato in produzione: complessivamente le temperature applicate sono nettamente più basse, i tempi ciclo maggiorati rispetto allo standard. Inoltre, è stato necessario deumidificare i materiali ad una temperatura di 70°C per circa 6 ore, in quanto l'umidità residua potrebbe danneggiare il polimero, compromettendone le performance. Trattando separatamente i due casi:

- Nel caso del M52717, la temperatura applicata per lo stampaggio è costante a 130°C dall'inizio del cilindro fino all'ugello, con tempo di iniezione di 0,25 secondi e picco di pressione di 1975 bar, stampo condizionato a 15°C. Il tempo di postpressione è di 2,5 secondi con pressione costante a 750 bar. Il tempo ciclo ottenuto con queste condizioni è di 16,3 secondi, di cui 10 per il raffreddamento. È risultato impossibile effettuare il riempimento in tempi minori, in quanto non si riesce a riempire la figura completamente, invece aumentando la temperatura i pezzi estratti mostrano bave, dovute all'eccessiva fluidità (si deve notare che a parità di condizione, il MFI di questo materiale è pari a 22 g/10 min, il materiale standard ha un MFI di 3,2 g/10 min). Diminuendo il tempo di raffreddamento i pezzi vengono estratti deformati e con bave sui bordi. I pezzi estratti mostrano delle deformazioni sulle alette e, così come nel caso biobased, sono presenti i solchi dovuti alla rugosità della figura. In questo caso però sono stati riscontrati problemi durante l'estrazione del componente: il materiale sembra essere appiccicoso, tende a restare incollato alla figura e dato che il componente viene spinto fuori tramite pressione sulle alette, queste vengono schiacciate e deformate;
- Nel caso del M61929, sono state applicate temperature più alte: il profilo di temperatura è costante a 145°C dall'inizio del cilindro fino all'ugello, il tempo di iniezione è di 0,22 secondi con picco di pressione a 1975 bar, stampo condizionato a 15°C. il tempo di postpressione è di 2,5 secondi con pressione costante a 1100 bar. Il tempo ciclo ottenuto è di 11,5 secondi, di cui 5 per il raffreddamento. Nonostante la temperatura del fuso più alta, il tempo di raffreddamento si è accorciato, probabilmente per via di tempi di cristallizzazione più ottimali. Tuttavia, analogamente a quanto accaduto per l'altro materiale, il componente è estratto deformato sulle alette, e le cause identificate sono le stesse del M52717.

Complessivamente, la prova di stampaggio non si può considerare andata completamente a buon fine, non tanto per la lunghezza dei cicli, che per il componente trattato è considerata troppo elevata tuttavia accettabile in un contesto di ricerca di materiale innovativo, bensì per le deformazioni trovate e la difficoltà riscontrata in fase di estrazione. In seguito ad un confronto con il fornitore, questo non sembra un problema insormontabile, quindi non sono state previste modifiche sulla figura. In figura 3.6 sono visibili i componenti stampati nei due materiali, in particolare si noti l'ondulazione sulle alette là dove è presente l'indebolimento utile alla funzione TE.

Nonostante i difetti visibili ad occhio nudo, i componenti sono stati misurati per evidenziare difetti dimensionali di altro tipo. La prima differenza riscontrata rispetto allo standard è nel peso dei campioni, che per via della maggiore densità del materiale risultano più pesanti. Entrambi i componenti presentano tutte le quote fuori tolleranza, in particolare sono tutte maggiori rispetto a quanto previsto. La causa identificata è il ritiro del materiale, che risulta essere significativamente minore rispetto a quello dell'LDPE. Così come il cambio di peso, questo fattore era già stato preso in considerazione, tuttavia, trattandosi di una formulazione ad hoc di cui solo alcune proprietà sono state caratterizzate secondo normativa ISO e riportate in scheda, si è preferito vedere la differenza nei ritiri, anche se approssimativamente. In tabella 3.3 sono riportate le misure medie e gli scostamenti medi rispetto ai valori standard dei due componenti.



**Figura 3.8** - Anellini in ORIOS B7 M52717 (i due a sinistra) e ORIOS B7 M61929 (i due a destra). Sul secondo anello a partire da sinistra è particolarmente evidente la deformazione sull'indebolimento

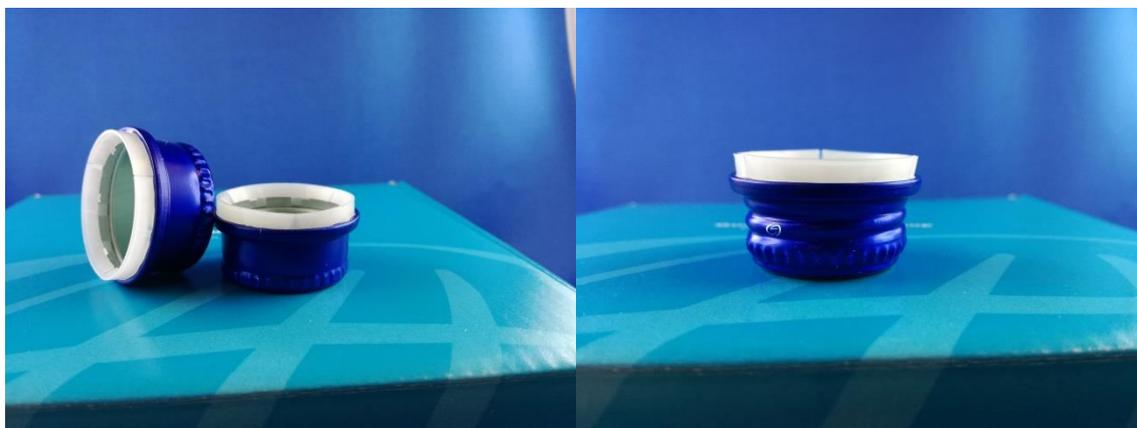
**Tabella 3.3** - Misure medie e scostamenti dalle tolleranze sugli anellini in materiale compostabile

	Ø esterno massimo [mm]	Ø sottosquadro [mm]	Ø esterno base [mm]	Altezza esterna [mm]	Altezza totale [mm]
Quote previste	32,10±0,15	25,50±0,15	29,86±0,10	2,20±0,10	5,70±0,15
Misura media su M52717	32,65	26,01	30,26	2,36	5,93
Delta da quota standard	+0,40	+0,36	+0,30	+0,06	+0,08
Misura media su M61929	32,63	26,13	30,29	2,33	5,94
Delta da quota standard	+0,38	+0,48	+0,30	+0,03	+0,09

L'assemblaggio in macchina è stato problematico, sono stati assemblati i campioni, tuttavia la bordatura non risulta esteticamente perfetta su alcuni componenti, inoltre entrambi i materiali hanno dato alcuni problemi:

- Per l'assemblaggio in sé della formulazione M52717 non si sono riscontrati problemi, tuttavia la fase di smaltimento della materozza non si è svolta agevolmente. Per via della resistenza meccanica più elevata del materiale risulta difficile trinciare gli scarti, e per via della maggiore densità la macchina di aspirazione non riusciva ad aspirare i trinciati, intasandosi. Inoltre, per via del maggiore allungamento a rottura di questo materiale, risultano particolarmente evidenti i punti in cui erano giunti insieme anellino e materozza, in quanto restano dei "dentini";
- Nel caso della M61929 sono stati riscontrati più problemi. Il primo problema è lo scivolamento degli anellini nella macchina rotativa in cui vengono rimosse le materozze, ovvero nella fase in cui vengono spostati scivolano, incastrandosi in alcuni punti bloccando la macchina. Non è stata individuata una causa certa, si è ipotizzato che, per via degli scivolanti residui nella macchina (ceduti dai materiali di produzione), il materiale non scorresse correttamente, posizionandosi in modo sbagliato, rendendo difficile anche la fase di rimozione della materozza. In più anche in questo caso la fase di smaltimento degli scarti non procedeva correttamente, e sono presenti i "dentini" come nel caso precedente.

Complessivamente, la valutazione data dai responsabili della macchina di assemblaggio è negativa, infatti mentre il problema dello smaltimento sembra risolvibile con modifiche nella strumentazione e nel settaggio, la parte relativa allo scivolamento del componente non sembra essere risolvibile operando sulla macchina, così come per i dentini rimasti là dove era unita la materozza, quindi per risolvere questi problemi è necessario riformulare il materiale. In figura 3.7 sono visibili gli assemblati con i due materiali compostabili.



**Figura 3.9** - Assemblati con ORIOS B7 M52717 (a sinistra) e ORIOS B7 M61929 (a destra)

Nonostante si sia già dedotto che è necessario modificare la formulazione, si procede comunque con la prova di apertura, per verificare se le proprietà meccaniche dei materiali sono idonee al funzionamento. I campioni hanno mostrato lo stesso comportamento: in fase di applicazione i ponticelli resistono, tuttavia non si rompono in fase di apertura. Nel caso del M52717 si rompe al massimo un ponticello, invece nel M61929 non se ne rompe nessuno. In entrambi i casi la bottiglia non si riesce ad aprire correttamente, in quanto il sottosquadro delle alette impedisce di rimuovere la chiusura, se non tirando con forza. Questo comportamento è attribuito sia all'elevata resistenza meccanica del materiale che all'allungamento a rottura mostrato dal materiale: infatti, l'indebolimento che dovrebbe rompersi per permettere alle alette di alzarsi, si allunga plasticamente senza tuttavia rompersi. In figura 3.8 sono visibili le chiusure nei due materiali diversi prima e durante l'apertura.



**Figura 3.10** - Chiusure in ORIOS B7 M52717 (sopra) e ORIOS B7 M61929 (sotto), a sinistra prima dell'apertura, a destra durante.

Complessivamente, con questa prima fase di test sui materiali compostabili, nonostante l'esito sia negativo, si è potuto valutare in prima battuta il comportamento di questa classe di materiali, sia dal punto di vista della lavorabilità, che del comportamento meccanico e dei ritiri. Per risolvere i problemi riscontrati si può scegliere di modificare la geometria del componente, oppure la formulazione. Essendo una fase di studio, e considerando le implicazioni legate alla modifica del componente già evidenziate nel capitolo 2, si preferisce di testare nuove formulazioni del materiale. Questa scelta permette di conoscere meglio questi materiali, e di studiarne più approfonditamente il comportamento su geometrie complesse come quella del componente in analisi. Quindi sono state testate due nuove formulazioni di PBS, questa volta additivate con titanio per conferire il colore bianco. Il materiale è stato fornito già masterizzato dal fornitore, in modo da garantire la corretta omogeneità del colore. I due nuovi materiali sono chiamati ORIOS B7 M27DF 116 e ORIOS B7 M27DF 224, si tratta anche in questo caso di PBS. Le proprietà dei materiali complete sono riportate in Appendice I, la differenza primaria consiste nel contenuto di carica, che nel primo caso è del 5%, nel secondo del 10%. In conseguenza si scostano leggermente densità, Melt Flow Index e modulo a flessione, mentre sono identiche le altre proprietà meccaniche. Rispetto alle formulazioni precedenti, sono stati ridotti il carico di rottura a trazione e l'allungamento a rottura, in quanto sono le cause identificate per il corretto funzionamento del Tamper Evident, priorità del progetto.

Le prove di stampaggio sono state effettuate con condizioni molto simili per i due materiali, ovvero anche in questo caso un profilo di temperatura costante lungo tutto il cilindro fino all'ugello a 125°C, con lo stampo condizionato a 18°C. Nel caso del 116 il tempo di iniezione è di 0,35 secondi con picco di pressione a 1150 bar, il tempo di postpressione è di 1,5 con una pressione da 1000 bar a 900 bar, il tempo ciclo così ottenuto è di 25,5 secondi, di cui 20 di raffreddamento. Nel caso del 224 invece il tempo di iniezione è di 0,31 secondi con picco di pressione a 1300 bar, la postpressione dura 2 secondi e passa da 1350 bar a 1300, il tempo ciclo è di 26 secondi, di cui 20 di raffreddamento. Il tempo di raffreddamento così elevato è dovuto al fatto che i materiali non solidificano abbastanza velocemente, tentando l'estrazione in tempi minori venivano deformati in modo eccessivo. Anche in questo caso, per entrambi i materiali, l'estrazione non è stata semplice, in quanto i componenti restavano incollati alla figura, è stato necessario impostare il ritorno dell'estrattore per garantire la caduta dei semilavorati dalla figura (ovvero l'estrattore doveva agire due volte per poter far cadere il pezzo), e nonostante questo accorgimento è risultato opportuno restare accanto alla macchina per essere pronti ad estrarre manualmente i pezzi nel caso in cui non fossero caduti. La presenza dei solchi sulle alette non ha aiutato anche in questo caso. Complessivamente, i pezzi estratti sono risultati visibilmente deformati là sugli indebolimenti, così come accaduto con le formulazioni precedenti, tuttavia in questo caso le deformazioni risultano molto più evidenti. In figura 3.9 sono riportate le foto dei due materiali stampati, da notare l'ondulazione lungo le alette particolarmente evidente in questo caso.

Per via delle deformazioni troppo estese, si è preferito saltare la misura dei componenti, in quanto i risultati non sarebbero completamente attendibili e rappresentativi dei ritiri. Si è passati direttamente all'assemblaggio in macchina, che anche in questo caso non è stato semplice. La riduzione della resistenza meccanica del materiale non si è mostrata sufficiente per risolvere il problema legato allo smaltimento delle materozze, anche in questo caso sono evidenti i dentini già trovati nelle altre formulazioni. Complessivamente, sono stati ottenuti degli assemblati, visibili in figura 3.10, tuttavia anche in questo caso il responso è negativo per via della difficoltà riscontrata nel loro ottenimento.

Infine, gli assemblati ottenuti sono stati applicati su bottiglia e si è tentata l'apertura. Il comportamento è stato identico (come ci si poteva aspettare dalle proprietà), anche in questo caso i ponticelli non si sono rotti in fase di applicazione, tuttavia non si sono rotti nemmeno in apertura. Le giunzioni tendono ad allungarsi e deformarsi invece che spezzarsi, impedendo la rimozione della chiusura. I sottosquadri delle alette tendono a restare incastrati sotto la boga della bottiglia, obbligando a tirare con forza per poter rimuovere del tutto il tappo, quindi anche in questo caso la prova non è superata. Infine, va aggiunto che nonostante l'esito negativo nell'applicazione di queste formulazioni, è stata molto apprezzata una proprietà del materiale, ovvero la tendenza a mantenere la deformazione plastica. Un problema tipicamente riscontrato con il polietilene è la sua tendenza a tornare nella posizione originale in seguito alla deformazione, fattore che su alcuni prodotti sul mercato si traduce con il riposizionamento delle alette in una posizione simile a quella di partenza. Applicando questi materiali si risolverebbe

questo “difetto” (la funzione TE non è compromessa dal ritorno in posizione, tuttavia nell’ottica di creare il prodotto ottimale si vuole sorpassare ogni forma di problema, anche se marginale). Si riportano in figura 3.11 le chiusure prima e durante l’apertura, mentre in tabella 3.2 vengono riassunti gli esiti delle prove effettuate con i materiali compostabili sull’anellino spring, si ricorda che le tabelle con gli esiti completi sono riportate in Appendice III, in particolare in tabella III.1 e III.2.



**Figura 3.11** - Anellini in ORIOS M27DF 116 (a sinistra) e ORIOS M27DF 224 (a destra)



**Figura 3.12** - Assemblati con ORIOS M27DF 116 (a sinistra) e ORIOS M27DF 224 (a destra)



**Figura 3.13** - Chiusure spring prima e durante l'apertura in ORIOS M27DF 116 (sopra) e ORIOS M27DF 224 (sotto)

**Tabella 3.4** - Riassunto delle prove eseguite con i materiali compostabili ORIOS B7

Materiale	Stampaggio	Dimensioni	Assemblaggio	Applicazione	TE
<b>M52717</b>	Cicli lunghi, pezzi deformati	NO (pezzi fuori tolleranza)	NO (risolvibile)	OK	NO (non si aprono le alette)
<b>M61929</b>	Cicli lunghi, pezzi deformati	NO (pezzi fuori tolleranza)	NO (risolvibile)	OK	NO (non si aprono le alette)
<b>M27DF 116</b>	Cicli lunghi, pezzi deformati	/	NO (risolvibile)	OK	NO (non si aprono le alette)
<b>M27DF 224</b>	Cicli lunghi, pezzi deformati	/	NO (risolvibile)	OK	NO (non si aprono le alette)

### 3.3 Mars Biobased

Come già discusso nel capitolo 2.3, l'obiettivo di questo progetto è l'ottenimento di una chiusura monomateriale, in modo da favorire i processi di riciclo meccanico a cui si vorrebbe indirizzare la chiusura alla fine del suo utilizzo. I materiali testati sono il grado di HDPE SHC 7260 per sovrappacco e tappo e il grado di LDPE SPB 681 per il wad, entrambi della linea l'm Green prodotta da Braskem. Rispetto al programma preventivo, non tutte le prove sono state eseguite per via di alcuni malfunzionamenti riscontrati fin dalle fasi iniziali.

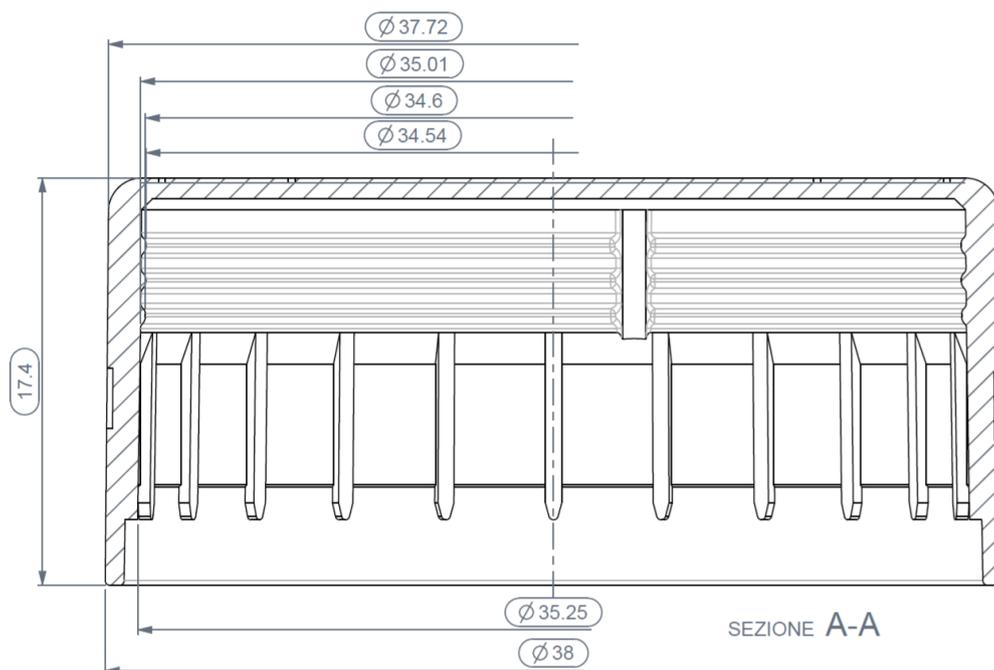
Le prove di stampaggio sono state tutte eseguite presso l'officina della ricerca e sviluppo dell'azienda. In particolare:

- Il sovrappacco è stato stampato su uno stampo pilota monocavità a quattro carrelli con la pressa Engel da 20 ton. Lo stampo è condizionato a 30°C, ad eccezione della bussola di estrazione, dei porta-guance e della piastrina di testa, tutte portate a 18°C. La temperatura impostata cresce nel cilindro partendo da 200°C fino a 220, il tempo di iniezione è di 0,35 secondi con picco di pressione a 1975 bar, la postpressione dura 1,5 secondi partendo da 1150 bar scendendo 900 bar, il tempo di raffreddamento è di 3,5 secondi. Complessivamente, il tempo ciclo raggiunto è di dieci secondi. La prova di stampaggio di questo componente è andata a buon fine, non sono risultati difetti visivi o problemi nelle fasi produttive;
- Il tappo è stato stampato sulla pressa Negri Bossi da 90 tonnellate su uno stampo pilota monocavità con sistema di estrazione a svitamento. La femmina è condizionata a 18°C, mentre il maschio a 18°C, la temperatura lungo il cilindro cresce da 200°C fino a 220°C all'ugello, il tempo di iniezione di 0,9 secondi con un picco di pressione a 1515 bar, la postpressione dura 1,5 secondi ed è impostata a 500 bar il tempo di raffreddamento è di 9,5 secondi. Il tempo ciclo complessivo è di 17 secondi. L'unico problema riscontrato è nella fase di estrazione: mentre lo svitamento del tappo procede correttamente, lo scavalco del sottosquadro di testa (quello in cui viene agganciato il wad) non procede perfettamente, tirando la testa del componente ed imbarcandola leggermente. Questo è dovuto sia al pezzo, che essendo in PE ritira più di quanto previsto dalla figura, disegnata per il PP, sia al vuoto che si genera tra la parte interna del tappo e la figura, in quanto non sono presenti sfoghi d'aria. Questo fattore è comunque risolvibile facilmente;
- Il wad è stato stampato sulla pressa Engel da 20 ton su di uno stampo pilota disponibile presso l'officina R&D. La figura è condizionata a 18°C, la temperatura impostata a partire da 160°C fino a 180°C sull'ugello, il tempo di iniezione è di 0,27 secondi con picco di pressione a 900 bar, il tempo di postpressione è di 1,5 secondi con pressione da 600 bar a 500 bar, il tempo di raffreddamento è di 2,5 secondi. Il tempo ciclo è di 7,5 secondi. Non sono stati riscontrati particolari problemi durante lo stampaggio del componente.

I componenti così ottenuti sono stati quindi misurati:

- Il sovrappacco risulta completamente fuori tolleranza, in particolare tutte le quote misurate risultano inferiori rispetto a quanto previsto dal disegno. Questo risultato era prevedibile, in quanto la figura era dimensionata considerando un ritiro di 0,6% tipico dell'ABS, contro il 2% tipico del PE. Esteticamente il risultato è accettabile, tuttavia il ritiro è considerevole, inoltre in seguito alle misure è risultato che la testa fosse leggermente bombata verso l'esterno;
- Nel caso del tappo quattro quote su sette sono fuori tolleranza, anche in questo caso sono ridotte rispetto al disegno. Anche in questo caso il risultato non sorprende, in quanto la figura prevedeva un ritiro di 1,5%, contro il ritiro del 2% del PE. Come risultato dell'estrazione non perfetta, il tappo risulta leggermente bombato;
- Il wad presenta quasi tutte le quote in tolleranza, ad eccezione di una, ridotta di un decimo di millimetro rispetto a quanto previsto. In questo caso, la quota fuori tolleranza sorprende, in quanto la figura è disegnata per LDPE.

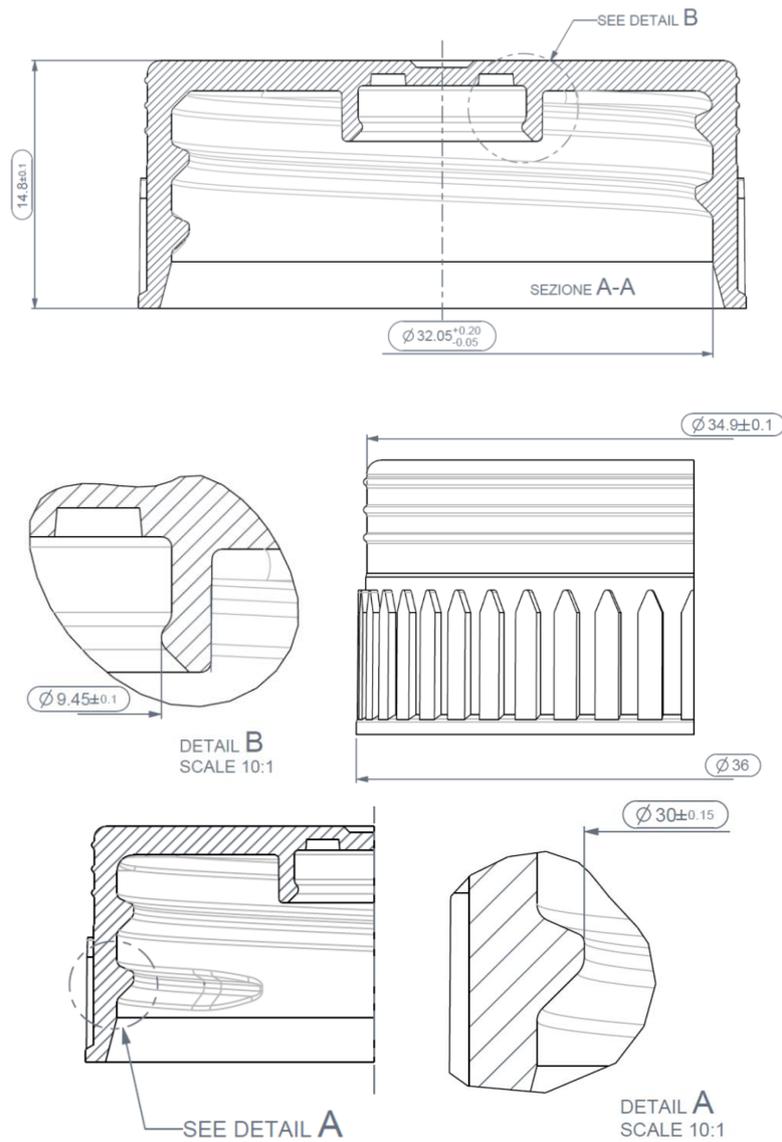
Si riportano in tabella 3.5, 3.6 e 3.7 le quote medie rilevate di sovrappacco, tappo e wad, ed in figura 3.12, 3.13 e 3.14 i disegni con le principali quote di riferimento misurate sui tre componenti.



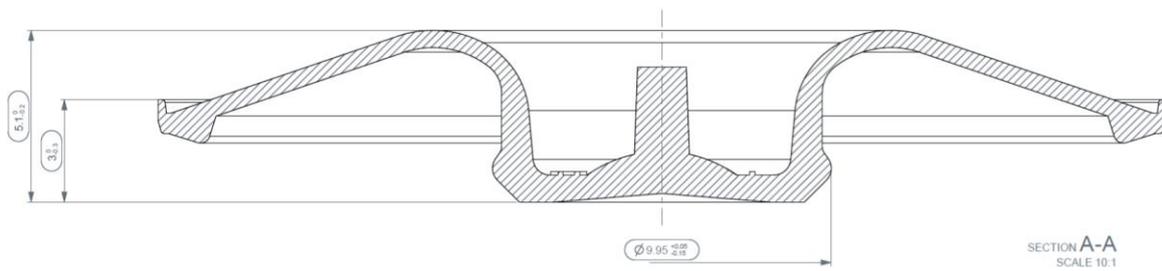
**Figura 3.14** - Principali quote di riferimento del Sovratappo Mars

**Tabella 3.5** - Misure medie e scostamenti rilevati sul Sovratappo Mars stampato in SHC 7260

	Ø esterno base [mm]	Ø tacche antirotazione [mm]		Ø base righette [mm]
Quota prevista	38,00	35,30		35,01
Misura media rilevata su SHC 7260	37,55	34,84		34,71
Delta da quota standard	-0,45	-0,46		-0,3
	Ø cresta 1° righette [mm]	Ø cresta 3° righette [mm]	Ø esterno cupola [mm]	Altezza totale [mm]
Quota prevista	34,60	34,60	37,72	17,40
Misura media rilevata su SHC 7260	34,34	34,23	37,20	17,03
Delta da quota standard	-0,26	-0,37	-0,52	-0,37



**Figura 3.15** - Principali quote di riferimento sul Tappo Mars



**Figura 3.16** - Misure di riferimento sul Wad Mars

**Tabella 3.6** - Misure medie e scostamenti rilevati su Tappo Mars stampato in SHC 7260

	Ø base righette [mm]	Ø 1° righetta [mm]	Ø 3° righetta [mm]	Ø esterno base [mm]	
Quota prevista	34,60	34,94	34,94	36,00	
Misura media rilevata su SHC 7260	34,20	34,57	34,79	35,92	
Delta da quota standard	-0,40	-0,37	-0,15	-0,08	
	Ø base filetti [mm]	Ø cresta filetti [mm]	Ø sottosquadro wad [mm]	Altezza totale [mm]	Altezza conetto [mm]
Quota prevista	(32,05+0,20-0,05)	(30,00±0,15)	(9,45±0,10)	14,80	3,30
Misura media rilevata su SHC 7260	32,03	30,05	9,49	14,63	3,00
Delta da quota standard	OK	OK	OK	-0,17	-0,3

**Tabella 3.7** - Misure medie e scostamenti rilevati sul Wad Mars stampato in SPB 681

	Ø esterno massimo [mm]	Ø aggancio con tappo [mm]	Altezza esterna [mm]	Altezza totale [mm]
Quote previste	29,60+0,15-0,05	9,95-0,05+0,15	3,00+0-0,30	5,10+0-0,20
Misura media rilevata su SPB 681	29,57	10,03	2,56	5,04
Delta da quota standard	OK	OK	-0,14	OK

Nonostante i componenti non siano in tolleranza, anche in modo non trascurabile, si è voluto procedere con alcune delle prove in programma. La prima difficoltà riscontrata nell'eseguire le prove è nella mancanza di dati a cui fare riferimento: trattandosi di una chiusura mai andata in produzione, ed essendosi fermata negli stadi preliminari dello sviluppo, non sono state definite delle specifiche relative alla funzionalità.

I campioni testati nel corso di questo progetto sono stati assemblati manualmente, tuttavia per farsi un'idea della forza necessaria per assemblare tappo e sovratappo, sono state effettuate delle prove al dinamometro, seguite dagli scalzamenti, ovvero la prova in cui si verifica la forza necessaria per disassemblare i componenti tramite carico a trazione. Per assemblare i componenti il valore medio della forza applicata è di 38,99 Kg (unità di misura tipicamente usata in azienda in quanto più facilmente interpretabile da tutti). Il valore trovato è accettabile, non rappresenta limiti di carattere tecnologico, inoltre la forza applicata non va a danneggiare i componenti (i due principali fattori da considerare in questa fase di progetto). Lo scalzamento avviene a 30,3 Kg, anche questo valore ampiamente accettabile. Di queste due prove i valori sono soddisfacenti, tuttavia si deve ricordare che i componenti non sono in tolleranza, quindi si deve considerare l'eventualità che portandoli alle misure corrette i valori potrebbero cambiare. Infatti, mentre il tappo è relativamente vicino alle quote previste, il sovratappo è largamente fuori tolleranza. Ci si aspetta quindi una minore interferenza tra le righette durante l'assemblaggio, tuttavia non è prevedibile di quanto si scosteranno i risultati delle prove che si effettueranno con i componenti della giusta misura.

La prova seguente è stata quella di apertura a temperatura ambiente, eseguita congiuntamente alle richiure, ovvero le prove in cui si testano i valori di scavalco filetto e di rotazione reciproca tra i componenti. Anche in questo caso, la mancanza di uno standard a cui far riferimento non ha aiutato, in particolare non è noto un valore di coppia adatto per effettuare propriamente l'applicazione della chiusura sulla bottiglia. Una coppia troppo blanda non porterebbe bene a contatto il wad con la bocca della bottiglia, mentre valori troppo elevati possono danneggiarla, oppure nel particolare caso dei filetti a principio singolo (come questo) la forza che si genera tra il filetto della bottiglia e quello dalla chiusura non è distribuita uniformemente, questo risulta con l'inclinazione della chiusura rispetto all'asse della bottiglia, fattore che dal punto di vista estetico non sempre è accettato, e che nel caso della Mars, può avere effetti sulla tenuta. In particolare, se la chiusura è storta, il wad non è spinto uniformemente contro la bocca della bottiglia, permettendo la fuoriuscita del liquido là dove la pressione sul vetro è minore. Quindi nell'eseguire queste prove, si è andati a cercare anche valori di applicazione accettabili. Il primo metodo con cui sono stati assemblati non riguarda la coppia applicata, bensì la rotazione necessaria per avvitare la chiusura. Si è misurata la coppia necessaria per avvitare la chiusura di  $360^{\circ}+90^{\circ}$ , valore di riferimento per una chiusura applicata sullo stesso tipo di bottiglia, tuttavia non raggiungibile per via dello spessore del wad, che si oppone alla discesa della chiusura. Il valore massimo di rotazione raggiunta è di  $360^{\circ}+75^{\circ}$  a valori di torque oltre i 35 lbf.in, valore molto elevato rispetto a quelli raggiungibili dalle macchine di tappatura usate. I valori di apertura rilevati sono variabili, mediamente intorno ai 25 lbf.in, anche in questo caso valore elevato da eseguire manualmente (è stato persino necessario usare dei guanti appositi per far presa sulla chiusura, lo sforzo necessario è stato comunque considerevole). Tuttavia, applicando coppie elevate (manualmente sono stati raggiunti fino a 50 lbf.in), la chiusura non scavalca i filetti, ed i componenti non ruotano tra di loro. Complessivamente, dato che i valori raggiunti in applicazione sono elevati, i test seguenti sono stati eseguiti andando ad applicare le chiusure con valori di coppia tra 20 e 26 lbf.in, tecnologicamente più avvicinabili dalle macchine di tappatura e riferimento per la sopraccitata chiusura con filetto analogo a quello in esame. Si riportano in tabella 3.8 i valori medi di applicazione e apertura rilevati.

**Tabella 3.8** - Risultati medi della prova di apertura e richiusura eseguite tappando le bottiglie con angolo di avvitemento di  $360^{\circ}+75^{\circ}$ . Notare come la coppia di tappatura applicata con bocca della bottiglia bagnata scenda nettamente rispetto a quelle con bocca asciutta

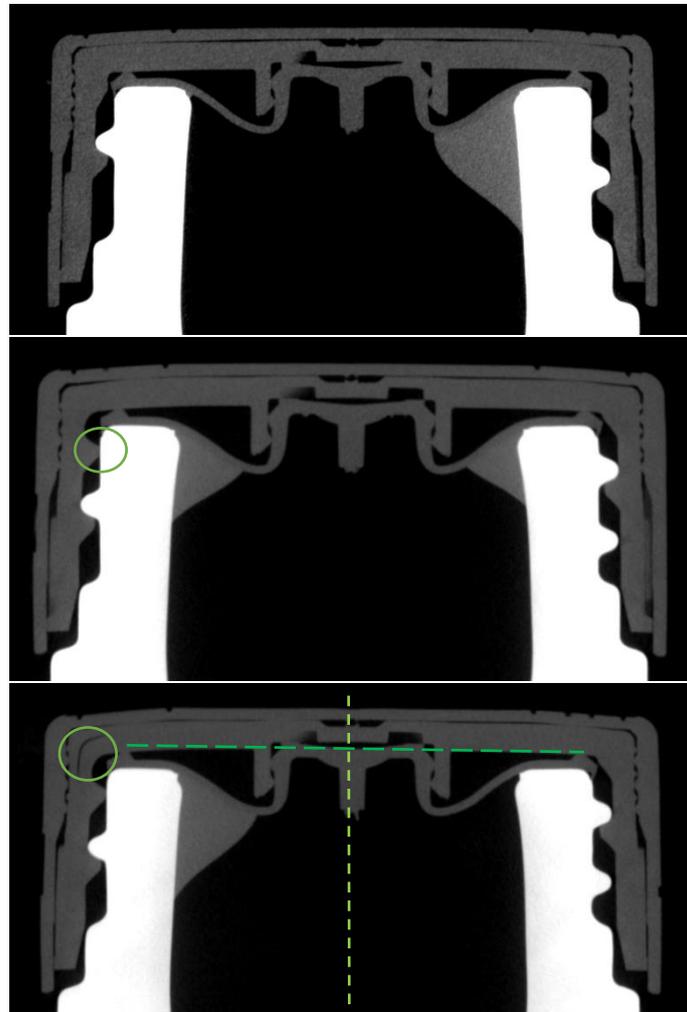
Condizione di applicazione chiusura	Valore medio di tappatura [lbf.in]	Valore medio di apertura [lbf.in]	Valore medio raggiunto in richiusura [lbf.in]
Bocca bottiglia asciutta	35,66	19,48	39,48
Bocca bottiglia bagnata	25,69	16,09	/
Bocca bagnata e apertura dopo 24 ore	24,86	17,03	/

Si è passato quindi alle prove di tenuta, effettuate usando bottiglie di capacità dai 700 ml ai 1000 ml, usando come liquido la soluzione idroalcolica blu, con gradazione alcolica del 40%. Per ogni prova sono stati testati i campioni applicandoli a 20, 24 e in alcuni casi anche 26 lbf.in. Come standard aziendale, si considerano accettabili perdite di liquido fino a 2 g per ogni tipo di prova di tenuta. La prima eseguita è quella in sottovuoto, con torque di applicazione di 20 e 24 lbf.in che essendo particolarmente critica permette di dedurre velocemente se la chiusura tiene oppure no. Il risultato è stato positivo, nessuna chiusura ha perso. Si è passati quindi alla prova a temperatura ambiente per una durata di 72 ore con gli stessi torque di applicazione, nuovamente l'esito della prova è stato positivo. Si è quindi passati alle tenute in forno per 24 ore a  $40^{\circ}\text{C}$ , su chiusure applicate a 20, 24 e 26 lbf.in che sfortunatamente hanno avuto esito negativo. Quasi tutte le bottiglie hanno perso una certa quantità di liquido, quelle applicate 20 e 24 lbf.in con media nei limiti di accettabilità, quelle a 26 lbf.in oltre il limite. La prova è considerata non passata, in quanto l'obiettivo reale è quello di non avere perdite di alcun tipo, inoltre le quantità di

liquido perso sono eccessivamente variabili. Per identificare la causa di tale fallimento, sono state eseguite delle tomografie sulle chiusure applicate a torque di 20, 24 e 26 lbf.in. Sono stati evidenziati molteplici discrepanze rispetto all'idealità, tutte identificabili come possibili cause delle perdite. Come accennato parlando delle prove di apertura, si è verificata la problematica relativa all'inclinamento della chiusura per via del carico non uniformemente distribuito sui filetti, particolarmente evidente nella chiusura applicata con carico più elevato. La testa della chiusura risulta bombata verso l'esterno, problema evidenziato già in stampaggio. Altro problema è relativo al wad, che nonostante abbia il diametro in tolleranza, sembra non raggiungere il punto adatto ad eseguire il suo compito, ovvero la circonferenza più esterna della bocca della bottiglia. Infatti, secondo quanto riportato da chi lavora storicamente su questo genere di prodotti, la tenuta avviene tramite la pressione in un punto preciso della bocca della bottiglia, in questo caso, parlando per termini meno tecnici, il wad dovrebbe quasi strabordare dalla bocca per poter tenere, mentre in questo caso si ferma proprio sul limite. Inoltre, si è notato che la cima dei filetti della chiusura entra in contatto con il collo della bottiglia, altro fattore non desiderato, in quanto il valore di coppia misurata è influenzato. Infatti, solitamente la coppia misurata normalmente deve essere generata solo dal contatto tra i filetti di bottiglia e della chiusura, in questo caso contribuisce anche il contatto collo-filetto, falsando il valore di coppia applicato, con risultato un'applicazione scorretta delle chiusure, che non sono avvitate fino al punto giusto. Questo risultato è confermato dalle prove di apertura, in cui si era riscontrata una differenza notevole tappando le bottiglie a bocca bagnata invece che a bocca asciutta. Per determinare quale di questi difetti (il primo più facilmente individuabile, il secondo evidente solo a chi conosce bene il settore, ed il terzo risolvibile solamente lavorando sui ritiri) sono state effettuate altre prove di tenuta in forno. Vengono riportate in figura 3.15 in ordine dall'alto al basso le tomografie eseguite sulle chiusure applicate a 20, 24 e 26 lbf.in, in cui sono evidenziati in verde i difetti sopracitati, ad eccezione della larghezza del wad, difficilmente evidenziabile. Nella seconda immagine è cerchiato il punto in cui il filetto della chiusura tocca il collo della bottiglia, difetto particolarmente evidente in questa sezione, mentre nella terza sono segnati l'asse della bottiglia (verticale, in verde più chiaro) e l'asse orizzontale della chiusura (in verde più scuro), in modo da evidenziare la mancanza di perpendicolarità tra i due. Infine, è cerchiato un ultimo difetto, ovvero una cricca creatasi probabilmente per il carico di chiusura troppo elevato. Per via di quest'ultimo difetto, non sono più stati eseguiti test applicando le chiusure a 26 lbf.in.

La prima prova di tenuta atta ad indentificare le cause di perdita è stata effettuata applicando le chiusure con un torque di 16 lbf.in per eliminare il fattore di inclinazione, prova che ha avuto esito negativo. Date le perdite copiose che si sono verificate, probabilmente il wad non è entrato correttamente in contatto con la bocca della bottiglia, tuttavia non è stata individuata la causa precisa. Per verificare il ruolo del wad nelle perdite trovate, le prove di tenuta sono state ripetute usando dei tappi in PP e dei sovratappi in ABS/PC, ovvero i materiali originariamente previsti per questa chiusura (componenti disponibili dagli archivi della ricerca), assemblandone sia usando i wad originali che i wad in LDPE SPB 681. Le prove effettuate usando tutti i materiali originali hanno avuto esito positivo, mentre quelle effettuate usando il wad in bio-PE hanno avuto esito negativo. Questo esito permette di attribuire le cause delle perdite al wad in bio-PE, tuttavia, in seguito alle analisi visive eseguite sui wad in bio-PE, non sono stati individuati difetti a cui imputare i malfunzionamenti. L'unica differenza trovata dai membri più esperti dell'azienda consiste in una rugosità superficiale diversa tra i due materiali, non individuabile al tatto, bensì passando la superficie con la punta di una mina di matita. Tuttavia, non si considera questa la causa delle perdite, in quanto la differenza è irrisoria. Dato che dalle tomografie il wad sembrava essere troppo "stretto", si è scelto di eseguire le prove di tenuta usando i wad in materiale compostabile, nonostante fossero fuori tolleranza. Anche questa prova ha avuto esito negativo, tuttavia il risultato era prevedibile in quanto i wad in ORIOS erano notevolmente fuori tolleranza. Dato che nelle prove di apertura e richiusura si era notato che la coppia necessaria per portare allo stesso angolo di avvitamento variava sensibilmente tra bottiglie tappate a bocca asciutta e bocca bagnata, sono state eseguite delle prove di tenuta tappando le bottiglia bagnando i filetti, in modo da lubrificarli ed assicurandosi così dell'applicazione corretta della chiusura, condizione tra l'altro più probabile nelle linee di imbottigliamento. La prima prova eseguita a bagnando i filetti con la soluzione idroalcolica sembrava avere avuto esito positivo, in quanto non erano presenti segni sulla carta assorbente posta nel forno, tuttavia pesando le bottiglie sono stati registrati dei cali nei pesi, e guardando le chiusure in seguito all'apertura sono state trovate tracce di colorante blu lungo i filetti ed i bordi della bottiglia. Dato che le variazioni di peso possono essere attribuite all'evaporazione dell'umidità raccolta sulle pareti esterne della bottiglia, ed il colore blu potrebbe essere quello lasciato dalla soluzione usata per bagnare le bocche, e non dato da una perdita, si è ripetuta la

prova premurandosi di asciugare le bottiglie prime della pesa iniziale, ed utilizzando vodka, che è trasparente, per bagnare i filetti. Anche in questo caso l'esito è negativo, infatti sono state registrate perdite di peso ed i filetti della chiusura si sono sporcati nuovamente di blu, nonostante non siano state trovate tracce di soluzione sulla carta assorbente. Si riportano in figura 3.16 le foto di alcune chiusure andate incontro alle prove di tenuta.



**Figura 3.17** - Tomografie delle chiusure applicate a 20, 24 e 26 lbf.in. Da notare come la testa della chiusura sia storta rispetto alla bocca della bottiglia e come sia bombata, e come i filetti entrano in contatto con il collo della chiusura.

Complessivamente, non è stata individuata una causa precisa dei malfunzionamenti riscontrati. Probabilmente, la compresenza dei difetti trovati nelle tomografie va a causare le perdite, che sono comunque riscontrate eliminando un problema alla volta. Tutte le prove effettuate, anche quelle che hanno avuto esito positivo, non sono considerabili come completamente valide, in quanto tappo e sovrappacco sono fuori tolleranza. Le prove sono state eseguite ugualmente in quanto erano comunque presenti delle possibilità che la chiusura funzionasse nonostante questo difetto. Inoltre, sulla base di queste prove è stato possibile identificare, anche se in modo provvisorio, dei parametri di ciclo applicabili, inoltre in questo modo si è capito quale tipo di modifiche si devono effettuare sulle figure e sui materiali per raggiungere il risultato finale. Si riporta in tabella 3.9 il riassunto delle prove effettuate sulla chiusura Mars Biobased, si ricorda inoltre che i risultati delle prove completi sono disponibili nell'Appendice III, nelle tabelle dalla III.3 alla III.15.



**Figura 3.18** - Esempi di due chiusure completamente in bio-PE (incolori) dopo la prova di tenuta in forno, ed una chiusura nei materiali originali (sovrattappo colorato). Da notare come sulle prima due siano presenti residui evidenti in più punti della chiusura, mentre su quella originale i residui sono solo sul wad

**Tabella 3.9** - Riassunto delle prove eseguite sulla chiusura Mars in bio-PE

Stampaggio	Dimensioni	Assemblaggio a scalzamenti al dinamometro	Aperture
Complessivamente OK, migliorare estrazione tappo	Sovratappo NO, Tappo NO, Wad OK	Valori accettabili, da ripetere con campioni di dimensioni corrette	Valori troppo elevati sulla base dell'angolo di avvittamento, identificare carico di chiusura
<b>Richiusure</b>	<b>Tenute a T ambiente</b>	<b>Tenute sottovuoto</b>	<b>Tenute a 40°C</b>
OK, i componenti non ruotano tra di loro o scavalcano i filetti	OK	OK	NO, non si riesce ad identificare una causa precisa

### 3.4 Mars Compostabile

Come già detto nel capitolo 2.3, l'obiettivo finale di questo progetto è l'ottenimento di una versione compostabile della chiusura Mars. Tuttavia, dato che non si conosce il comportamento dei materiali compostabili in contatto con bevande alcoliche, si è preferito trattare l'intero progetto in due fasi separate. La prima consiste nei test sul componente wad, in quanto è il componente a diretto contatto con i liquidi. Se gli esiti dei test dovessero essere positivi si procederebbe con la seconda fase, cioè lo sviluppo degli altri due componenti. Nell'ambito di questo progetto di tesi, per ragioni tempistiche e per via dei risultati ottenuti, verrà trattata solo la prima fase.

Il materiale testato sul wad è l'ORIOS B7 M27DF, una formulazione di PBS sviluppata appositamente per questo progetto da MAIP, un fornitore di Settimo Torinese. Dato che questo componente non è usato in produzione, non ci sono cicli di riferimento con cui fare paragoni per quanto riguarda lo stampaggio. Lo stampo utilizzato per questo componente è uno stampo pilota disponibile presso l'officina della ricerca e sviluppo dello stabilimento, montato su una pressa Engel da 20 ton. Il materiale è stato essiccato a 70°C per circa sei ore, in modo da rimuovere l'umidità potenzialmente dannosa per il polimero. Il ciclo individuato presenta una temperatura di 130°C lungo tutto il cilindro fino all'iniettore, il tempo di iniezione è di 0,23 secondi con un picco di pressione di 110 bar, il tempo di postpressione è di 2,5 secondi con pressione fissa a 750 bar, stampo condizionato a 15°C, con un tempo totale di 18,5 secondi, di cui 12 di raffreddamento. L'estensione di quest'ultimo valore è necessaria in quanto con

tempi minori il pezzo si deformava e piegava eccessivamente in fase di estrazione, in quanto il pezzo non era sufficientemente solidificato. La fase di estrazione non è proceduta perfettamente: come nel caso degli anellini Spring, il materiale tende ad incollarsi alla figura, tendenzialmente lungo i bordi esterni del componente. In questo caso la rimozione del pezzo dalla femmina è stata complicata anche per via della geometria in sé, infatti per essere estratto, il sottosquadro deve scavalcare la figura stessa. Se questo fattore nel polietilene non era influente, in quanto tende a comportarsi elasticamente, in questo caso il materiale tende a deformarsi più facilmente: il risultato consiste nella perdita della circolarità del sottosquadro, accentuata nella direzione lungo cui il bordino è restato appiccicato allo stampo. In figura 3.17 è riportata una foto del pezzo stampato. La figura è stata originariamente disegnata per un componente in LDPE, quindi considerando il ritiro di questo materiale. Nonostante ciò, sono state effettuate le misure dimensionali dei componenti ottenuti, sapendo che i pezzi sono usciti deformati. I pezzi misurati sono risultati parzialmente fuori tolleranza, sommando questo fattore ai difetti visivi presenti, la prova è considerata non superata. In tabella 3.10 sono riportate le misure medie rilevate con gli scostamenti dalle quote standard. Mentre le quote maggiorate sono imputabili al ritiro del materiale, la quota che risulta ridotta, ovvero l'altezza, è dovuta probabilmente all'estrazione del componente, che viene schiacciato dall'estrattore sul sottosquadro.



**Figura 3.19** - Wad in ORIOS M27DF

**Tabella 3.10** - Misure medie rilevate sul wad in materiale compostabile

	Ø esterno massimo [mm]	Ø aggancio con tappo [mm]	Altezza esterna [mm]	Altezza totale [mm]
<b>Quote previste</b>	29,60+0,15 -0,05	9,95-0,05+0,15	3,00+0-0,30	5,10+0-0,20
<b>Misure su ORIOS B7 M27DF</b>	30,05	10,24	2,67	5,04
<b>Esito Prova</b>	+0,30	+0,14	-0,03	OK

Dato che le misurazioni hanno dato esito negativo, il componente non è considerato valido per poter eseguire ulteriori test funzionali. Per risolvere il problema dimensionale è necessario ricreare la figura sulla base dei ritiri del PBS, inoltre per garantire l'estrazione del componente senza che presenti deformità si dovrebbe prendere in considerazione l'idea di eseguire modifiche sulla geometria del sottosquadro. Tuttavia, al momento della stesura della tesi non sono previsti investimenti di questo tipo, inoltre dato che la figura è condivisa su altri progetti, non è possibile applicare queste modifiche. Quindi dal punto di vista della validazione GSTM questo progetto si conclude qui.

Tuttavia, sono stati effettuati altri due test con questo componente: una prova di tenuta in forno e la prova di compatibilità. La prima è stata eseguita per fare un paragone con quanto si stava registrando con le prove eseguite sullo stesso componente ma in Bio-PE, la seconda invece è servita per verificare il comportamento di questa classe di materiali a contatto con gli alcolici.

Le prove di tenuta sono state eseguite in diverse condizioni, per poter identificare la causa delle perdite che si stavano riscontrando con la versione completamente biobased. Dato che dalle tomografie eseguite sulle chiusure completamente in bio-PE sembrava che il wad fosse troppo piccolo, e come tale non raggiungeva i punti giusti della bocca della bottiglia, si è voluto provare con uno che fosse più grande, tale da poter "avvolgere" la bocca della bottiglia nelle circonferenze più esterne. I campioni malriusciti del wad nella versione compostabile sono quindi sembrati adatti a svolgere quest'altra prova, nel tentativo di raggiungere delle conclusioni su quanto stava accadendo. Una prima prova di tenuta è stata eseguita quindi assemblando il wad compostabile sul semi-assemblato tappo/sovratappo in bio-PE, tappando anche in questo caso le bottiglie a due diversi valori di coppia applicata, cioè 20 lbf.in e 24 lbf.in. Si sono utilizzate le stesse bottiglie utilizzate nelle altre prove di tenuta, di capacità 700 ml con volume libero del 3%. Anche in questo caso si è utilizzata la soluzione idroalcolica per effettuare la prova. Le bottiglie così tappate sono state messe in forno a 40°C per 24 ore, ed hanno tutte perso visibilmente, ad eccezione di un caso da considerarsi però isolato. Dato che tra le possibili cause di perdita identificate vi era anche la posizione del tappo identificata dalle tomografie, la prova è stata ripetuta nelle stesse condizioni di tappatura e riempimento, assemblando però i wad compostabili sul semi-assemblato con sovratappo in ABS/PC e tappo in PP. Il risultato è stato identico, ovvero una perdita copiosa di liquido. L'esito negativo delle prove è stato utile per verificare il comportamento del wad compostabile, e congiuntamente ai risultati ottenuti con i wad biobased, ha permesso di imputare le cause principali della perdita ai wad, non ai tappi.

La prova di compatibilità invece è stata eseguita in quanto, nonostante i polimeri ORIOS siano approvati per il contatto con alimenti e bevande, non è del tutto noto il comportamento di questi materiali con bevande alcoliche. Inoltre, in passato anche polimeri tradizionali sono stati completamente corrosi quando messi in contatto con particolari bevande alcoliche, quindi è sempre opportuno testare il comportamento dei materiali con alcolici tradizionali già nelle prime fasi progettuali. Il test consiste nell'immersione di un semilavorato in un liquido per un periodo di 10 giorni ad una temperatura di 40°C, in questo caso è stato eseguito usando tre liquidi diversi, ovvero Vodka a 40% di gradazione alcolica, Whiskey a 35% e olio di oliva, quest'ultimo scelto in quanto tendenzialmente mostra un comportamento aggressivo nei confronti dei semilavorati. La prova è stata eseguita una prima volta usando dei campioni in PBS, stampati tuttavia a temperature troppo elevate dando dei campioni molto deformati, che presentavano esfoliazioni lungo le zone di flusso del materiale. Si è scelto di testare questi semilavorati danneggiati perché al momento della prova non erano ancora presenti dei campioni stampati correttamente, ed essendo una prova lunga si è preferito procedere per iniziare ad avere dei risultati. Sono stati immersi dieci campioni per ogni tipo di liquido per dieci giorni, e per estremizzare la prova, i campioni sono stati immersi nuovamente per altri dieci giorni. Pesando i campioni di volta in volta, si è registrato un aumento di peso, tuttavia il peso originale è stato recuperato dopo aver lasciato i campioni a temperatura ambiente per 24 ore fuori dai liquidi. Il recupero del peso non è tuttavia da considerarsi attendibile, in quanto i campioni mediamente pesano 0,69 g, e la bilancia usata ha una precisione di 0,01 g, quindi variazioni di peso più piccole, ma potenzialmente significative in percentuale, non verrebbero evidenziate. Il risultato di interesse in questa prova è relativo all'assorbimento di colore da parte dei componenti, che hanno assunto il colore del liquido in cui sono stati immersi, un irrigidimento dei campioni e la presenza di particelle all'interno del liquido stesso. L'origine di queste ultime tuttavia era dubbia, si è supposto che queste provenissero dalla parte esfoliata presente sui campioni, ma non essendovi certezza sulla natura di queste particelle, la prova è stata ripetuta. In figura 3.18 sono riportate le immagini di un campione non testato e tre campioni che hanno invece subito la prova. Dato che nel

frattempo erano stati stampati dei wad in PBS in modo corretto, si è scelto di ripetere la prova completa su di questi, usando nuovamente vodka, whiskey e olio. Anche in questo caso, si è registrato un aumento di peso, perso dopo aver lasciato a contatto con aria a temperatura ambiente i campioni, ad eccezione dei campioni immersi in olio, che invece hanno mantenuto l'aumento di peso. Si suppone quindi che il materiale adottato assorba una componente del liquido in cui è immerso, per poi lasciarla evaporare in seguito. Tuttavia, analisi di carattere chimico e spettroscopico sarebbero necessarie per poter identificare cosa viene assorbito con precisione. Anche in questo caso i campioni hanno assunto il colore del liquido, tuttavia in modo più tenue rispetto alla prova precedente. Apparentemente non sembra esserci stata alcuna reazione di carattere chimico con i liquidi, dato che i campioni non mostrano variazioni significative a parte colore e peso, ma nell'ordine di idee di mettere nel mercato questa classe di materiali, sarebbe opportuno verificare gli effetti degli assorbimenti riscontrati così come eventuali migrazioni di componenti dal materiale al liquido. Questo genere di test tuttavia viene eseguito esternamente all'azienda per via dei macchinari necessari, quindi al momento di stesura della tesi è uno step tenuto in sospenso, così come il progetto in sé. Si riportano in figura 3.19 le foto dei campioni prima e dopo la prova. Per la visualizzazione dei risultati completi si rimanda alla Appendice III, nelle tabelle III.5 e III.15.



**Figura 3.20** - WAD in materiale compostabile stampati scorrettamente. Partendo da sinistra, Wad tal quale, dopo immersione in Whiskey, dopo immersione in vodka e dopo immersione in olio



**Figura 3.21** - WAD in materiale compostabile stampati correttamente. Partendo da sinistra, Wad tal quale, dopo immersione in Whiskey, dopo immersione in vodka e dopo immersione in olio

### 3.5 Bikini Biobased

Così come negli altri progetti, sono stati testati i gradi di polietilene l'm Green prodotti da Braskem, in particolare il grado di HDPE SHC 7260 su entrambi i componenti, in modo da poter ottenere una chiusura mono-materiale più facilmente riciclabile. Rispetto al programma iniziale, non tutte le prove sono state eseguite in quanto fin dalle prime fasi è risultata evidente la necessità di applicare modifiche ai componenti.

La prova di stampaggio del sovratappo è stata eseguita sullo stampo pilota mono-cavità disponibile presso l'officina della ricerca e sviluppo sulla pressa Engel da 20 ton, mentre lo stampaggio del tappo è stato eseguito su di uno stampo del reparto di produzione con otto cavità. Di quest'ultimo tuttavia non sono stati registrati i parametri impostati quindi non è possibile dare delucidazioni sull'andamento della prova in sé. Per quanto riguarda lo stampaggio del sovratappo invece si è ottenuto un tempo ciclo di nove secondi, applicando un profilo di temperatura da 200°C fino a 220°C impostati sull'ugello, con tempo di iniezione di 0,58 secondi e picco di pressione a 900 bar, tempo di postpressione di un secondo con pressione costante a 600 bar, condizionando la figura a 18°C. Complessivamente il risultato è soddisfacente, infatti normalmente l'ABS viene stampato a temperature più alte (nel cilindro si applicano fino a 260°C, gli iniettori mediamente a 275°C), con un tempo ciclo di 9,4 secondi. Non sono stati riscontrati particolari problemi in fase di estrazione.

I campioni così ottenuti sono stati misurati secondo le specifiche di produzione. In figura 3.20 sono riportate le quote di riferimento per i controlli della qualità del sovratappo, mentre nella figura 3.21 sono riportate le quote di riferimento per il tappo. Le misure sono state effettuate sui componenti neutri. Complessivamente, il sovratappo risulta essere leggermente fuori tolleranza, ovvero le quote sono fuori specifica nell'ordine di pochi centesimi di millimetro. Nel caso del tappo quasi tutte le quote sono fuori tolleranza, in alcuni casi di pochi centesimi di millimetro, in altri casi nel decimo. In entrambi i casi, avendo cambiato radicalmente la classe polimerica usata era già prevedibile che le quote non sarebbero risultate in tolleranza, per via dei ritiri diversi. La prova si può considerare superata in fase preliminare di progetto, dato che gli scostamenti dalle tolleranze sono contenuti, tuttavia procedendo in fasi più avanzate si devono prendere contromisure per garantire le dimensioni corrette delle chiusure, ad esempio modificando le figure calibrando sui ritiri del polietilene. Si riportano in tabella 3.11 e 3.12 le quote medie rilevate sui campioni di sovratappi e tappi.

**Tabella 3.11 – Misure medie rilevate sul sovratappo Bikini in bio-PE**

	Ø esterno base [mm]	Ø interno base [mm]	Ø tacche antirotazione [mm]	Ø base righette antiscalzamento [mm]
Quote previste	32,31±0,10	30,80±0,10	29,60	29,30+0-0,10
Misure medie rilevate	32,19	30,70	29,53	29,21
Esito Prova	-0,02	OK	-0,07	OK
	Ø righette antiscalzamento [mm]	Ø esterno cupola [mm]	Altezza totale [mm]	
Quote previste	28,70		16,50±0,10	
Misure medie rilevate	28,75	31,85	16,36	
Esito Prova	+0,05		-0,04	

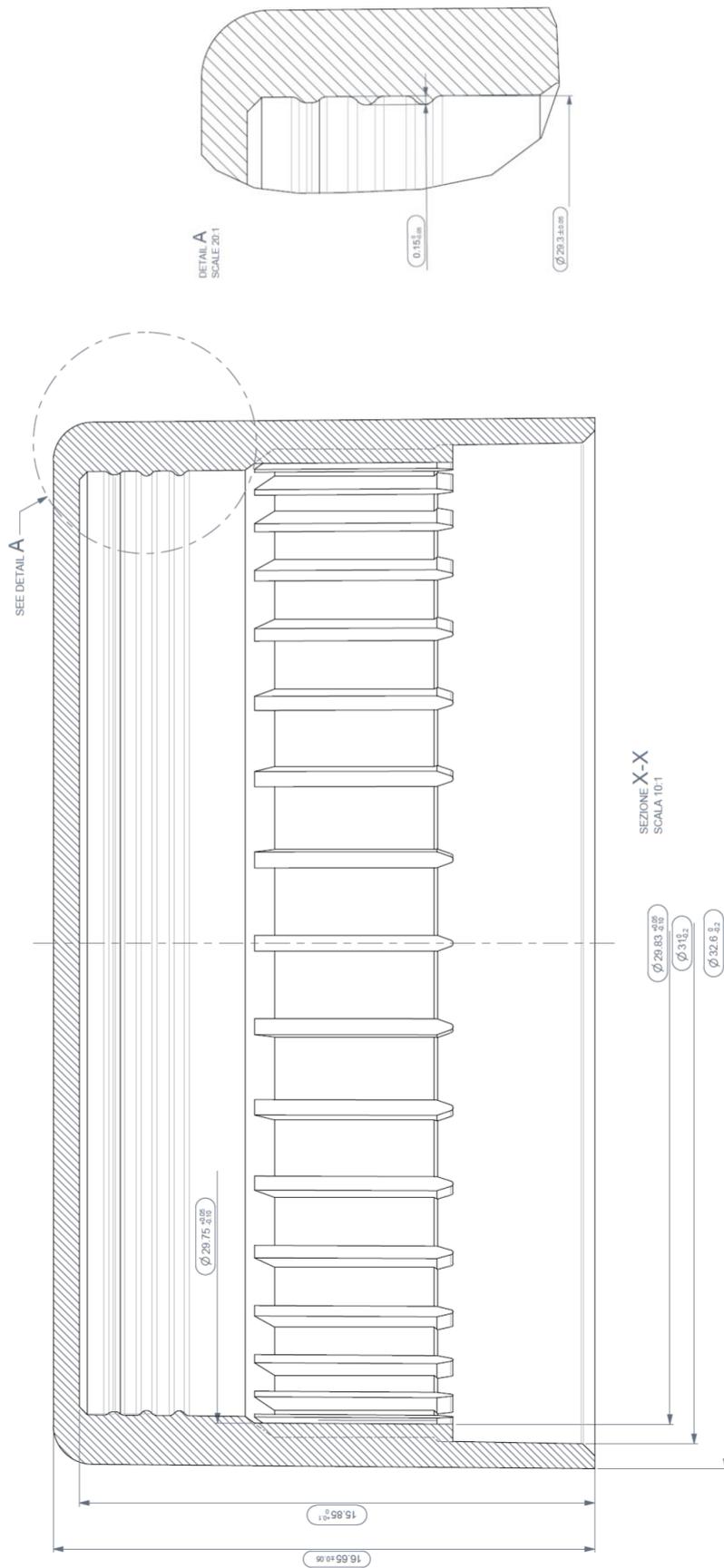
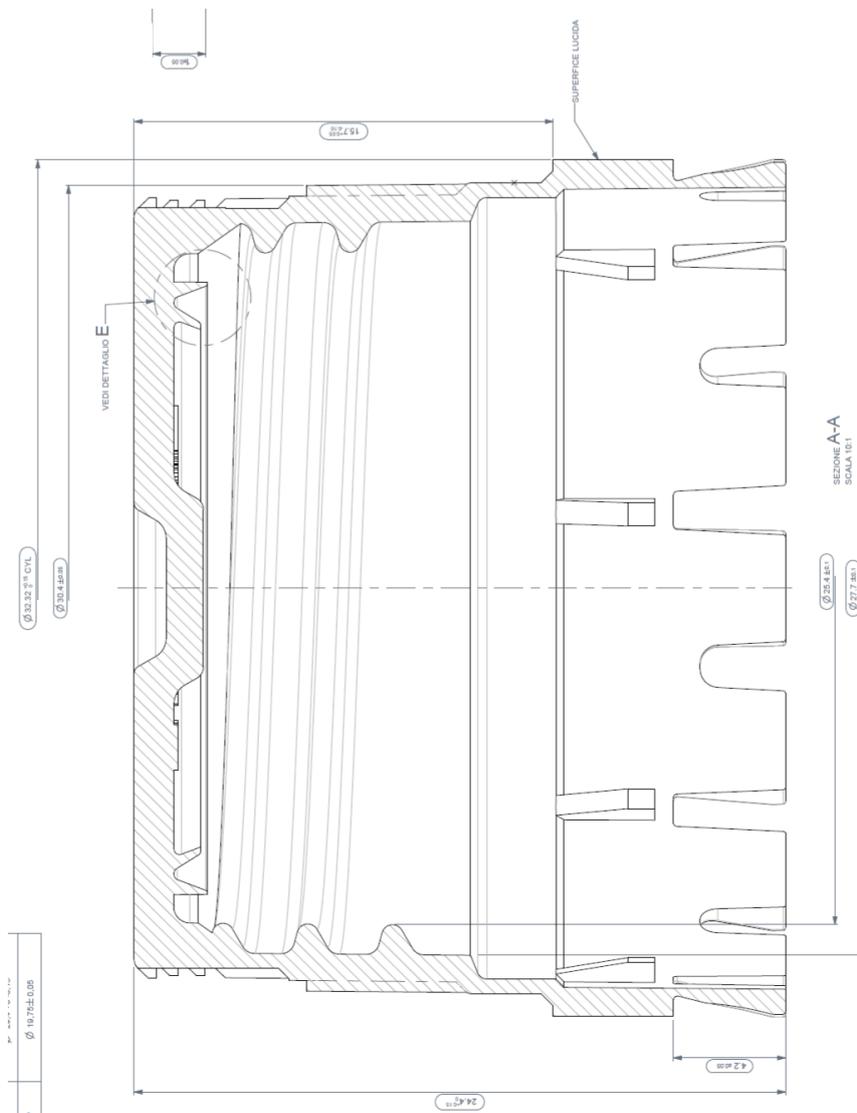


Figura 3.22 - Quote di riferimento del sovrappacco Bikini

**Tabella 3.12** - Misure medie rilevate sul tappo Bikini in bio-PE

	Ø esterno massimo [mm]	Ø tacche antirotazione [mm]	Ø base filetti [mm]	Ø righetta anti-impilamento [mm]	
Quote previste	32,32+0,15-0	30,40±0,05	27,70±0,10	29,40+0-0,15	
Misure medie rilevate	32,44	30,25	27,61	29,13	
Esito	OK	-0,10	OK	-0,12	
	Ø cresta filetti [mm]	Ø aletta esterna [mm]	Ø aletta interna [mm]	Altezza totale [mm]	Altezza alette bottiglia [mm]
Quote previste	25,40±0,10	23,10	19,75	24,40±0,15-0	4,20±0,05
Misure medie rilevate	25,21	23,05	19,76	24,25	4,21
Esito	-0,09	-0,05	+0,01	-0,15	OK



**Figura 3.23** - Disegno con le principali quote di riferimento del tappo Bikini

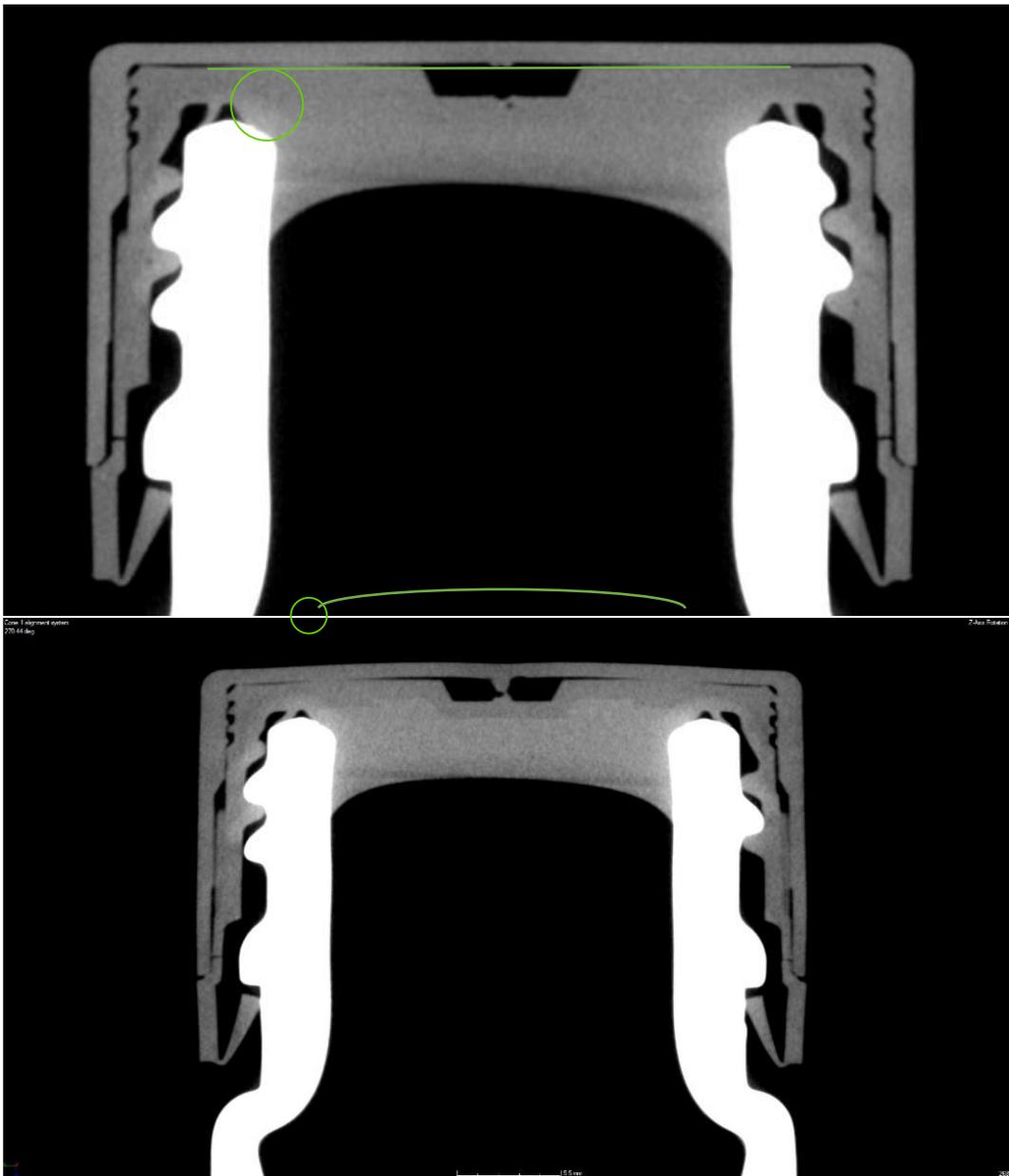
Alcuni campioni sono stati assemblati sulla macchina di produzione, con esito positivo. Le fasi più delicate in questo caso sono il taglio, ovvero la fase in cui il tappo viene tagliato in modo da creare gli indebolimenti del tamper evident, e la piegatura delle alette, fase finale in cui le alette vengono piegate verso l'interno del tappo per poterlo applicare sulla bottiglia. La prima è andata a buon fine, la seconda invece si è rivelata controversa. Infatti, la macchina non ha difficoltà a piegare le alette in posizione, tuttavia queste non mantengono la posizione stessa, e dopo poche ore si rialzano, comportamento dovuto alla memoria del materiale. Questo è un fatto non accettabile, in quanto in fase di applicazione su bottiglia le alette restano direzionate verso il basso, in questo modo non possono essere fermate dalla boga in fase di apertura. In alcuni casi, questo potrebbe dare problemi sul funzionamento del TE, inoltre le alette così posizionate possono dare problemi sulle linee di imbottigliamento in quanto potrebbero incastrarsi le une con le altre prima di finire nelle canaline, bloccando la macchina, infine è un comportamento considerato non accettabile anche dal punto di vista estetico. Complessivamente quindi si deve trovare una soluzione per il posizionamento delle alette, ad esempio modificando il disegno di questi dettagli.

Le specifiche di prodotto richiedono che le prove di apertura vengano eseguite in diverse condizioni, in seguito a cicli diversi: si devono verificare che i valori rientrino negli standard applicando la chiusura sulla bottiglia con bocca bagnata e aprendola subito dopo l'applicazione, verificare le aperture su chiusura lasciata su bottiglia per 24 ore a temperatura ambiente, dopo 72 ore a 43°C e dopo 24 ore a -20°C (per ogni test sono necessarie chiusure nuove per verificare il funzionamento del tamper evident). Anche le prove di tenuta vengono effettuate con cicli diversi e valori di riempimento delle bottiglie diversi. Le prove di apertura possono essere effettuate contemporaneamente alle prove di tenuta per ottimizzare i tempi. Complessivamente, le prove di apertura hanno avuto esiti positivi, anche se in alcuni casi i valori ottenuti durante l'apertura e della rottura dei ponticelli de tamper evident sono risultati bassi. Da specifica tecnica il tamper evident deve restare sul collo della bottiglia, richiesta soddisfatta con questo materiale, tuttavia spesso le alette tendono a scavallare verso l'esterno, portandosi in una posizione scorretta. Questo non compromette il funzionamento della chiusura, tuttavia essendo esteticamente sgradevole potrebbe non essere un comportamento accettato dal cliente. Le prove di tenuta non hanno avuto esito completamente positivo: nelle condizioni standard più generali le chiusure non hanno perso liquido, tuttavia nella condizione particolare richiesta da un cliente in cui il volume libero nella bottiglia è del 2% (contrariamente al 3% applicato globalmente come standard), le chiusure non hanno tenuto. Questo è probabilmente dovuto alla pressione che si genera dentro la bottiglia, che nel caso del materiale originale, ovvero il PP, non dà problemi, ma che nel caso del HDPE è eccessiva. Per verificare l'ipotesi è stata eseguita una tomografia della chiusura applicata con questo riempimento, ed effettivamente è stato riscontrato che la testa tende a bombare (ovvero inarcarsi verso l'esterno) e le bavette di tenuta tendono a comprimersi e spanciarsi, posizionandosi in modo scorretto, ed anche se appoggiano sulla bocca della bottiglia, la posizione assunta non è adatta alla prevenzione della fuoriuscita del liquido. In figura 3.22 sono riportate le tomografie di una chiusura in materiale standard e quella in bio-PE, con evidenziate le differenze tra i due componenti. La prova si può considerare passata, ma non nel caso in cui si volesse fornire questa chiusura al cliente che richiede questa condizione di test particolare. Si riportano in tabella 3.13 gli esiti delle prove effettuate nelle diverse condizioni, sia per quanto riguarda le tenute che per le aperture. In figura 3.23 si riportano inoltre le foto di una chiusura applicata su bottiglia prima dell'apertura e del TE rimasto sul collo.

Le ultime prove tecniche effettuate sono quelle di scalzamento e di scampanamento, le quali hanno entrambe avuto esito positivo.

L'ultimo test eseguito riguarda la colorazione del polietilene. Applicando gli stessi parametri usati precedentemente, è stato stampato il sovrappacco con l'aggiunta di un master azzurro su base LDPE SPB 681. Anche in questo caso non sono stati riscontrati problemi, tuttavia i componenti estratti mostrano un alone ceroso in alcuni punti, che non è stato possibile rimuovere, nemmeno strofinando. Questi aloni sono stati imputati ad un cambio materiale eseguito scorrettamente, infatti sono state eseguite prove con altri materiali sulla stessa pressa prima di eseguire la prova col colore azzurro. Trascurando questo difetto, la valutazione sull'effetto estetico è stata positiva. Si è scelto quindi di procedere eseguendo una modifica estetica sulla testa del sovrappacco, applicando un'immagine in debossing, cioè dove il logo risulta scavato dentro la superficie. Questo tipo di modifica è ottenibile facilmente, applicando una piastrina modificata nella figura dello stampo. Si è scelto di testare l'effetto ottico su di una superficie rugosa, lasciando lucide le pareti del sovrappacco lucide. I campioni così

ottenuti hanno interesse puramente estetico, al momento dello stampaggio non è di interesse misurare le dimensioni dei componenti così colorati. Inoltre, si suppone che le variazioni dimensionali rispetto al polietilene vergine siano irrilevanti. Il risultato ottenuto è soddisfacente, il colore risulta omogeneo e l'immagine ben definita, quindi i campioni sono presentabili come oggetti estetici. In figura 3.24 sono visibili i campioni stampati nei diversi colori, assemblati manualmente sui tappi in PE neutro. Infine, in tabella 3.14 vengono riassunti gli esiti complessivi delle prove effettuate sulle chiusure bikini in Bio-PE, e si ricorda che i risultati completi sono visibili in Appendice III, in particolare nelle tabelle dalla III.16 alla III.22.



**Figura 3.24** - Tomografie della chiusura Bikini standard (sopra) e in bio-PE sotto, applicate su bottiglia con 2% di volume libero. In verde sono cerchiato le bavette e sono accentuate le differenze sulla testa della chiusura.

**Tabella 3.13** - Riassunto degli esiti delle prove di apertura e di tenuta effettuate sulla chiusura Bikini in bio-PE

Condizioni prova		Esito prova di apertura	Esito prova di tenuta	Complessivo
Appena dopo assemblaggio	Applicazione manuale su bottiglia, bocca asciutta	OK	/	Con applicazioni manuali i valori ottenuti sono più costanti, tuttavia il TE non resta posizionato correttamente
	Applicazione manuale su bottiglia, bocca bagnata	OK	/	
	Applicazione con macchina, bocca asciutta	Valori ottenuti bassi ma accettabili	/	Applicando con la macchina i valori ottenuti sono più fluttuanti, il TE non resta posizionato correttamente
	Applicazione con macchina, bocca bagnata	Valori ottenuti bassi ma accettabili	/	
Dopo 24 h a temperatura ambiente, 3% di volume libero	Applicazione con macchina, bocca asciutta	OK	OK	OK, con problema TE
Dopo 72 h a 43°C, 3% di volume libero	Applicazione con macchina, bocca asciutta	Valori ottenuti bassi ma accettabili	OK	OK, con problema TE
Dopo 48 h a 45°C, 2% di volume libero	Applicazione con macchina, bocca asciutta	Valori ottenuti bassi ma accettabili	Negativo	Negativo
Dopo 24 h a -20°C, 3% di volume libero	Applicazione con macchina, bocca asciutta	Valori ottenuti bassi ma accettabili	OK	OK, con problema TE



**Figura 3.25** - Chiusura Bikini in bio-PE applicata su bottiglia e anellino TE in seguito all'apertura, con le alette fuori posizione



**Figura 3.26** - Foto dei sovratappi assemblati e a sè stanti con i quattro masterbatch su base bio-PE e con l'estetica di presentazione del prodotto

**Tabella 3.14** - Riassunto degli esiti delle prove effettuate sulla chiusura Bikini in bio-PE

Prova	Stampaggio	Dimensioni	Assemblaggio	Aperture e TE
<b>Esito</b>	Sovratappo OK, tappo da verificare	Fuori tolleranze, tuttavia in modo contenuto, campioni idonei per i test, in caso di sviluppo procedere con stampi adatti al PE	OK, a parte alette che tendono a recuperare la posizione originale	Aperture e rotture TE basse rispetto allo standard ma accettabili, il TE tende a posizionarsi scorrettamente
<b>Prova</b>	<b>Tenute</b>	<b>Scalzamenti</b>	<b>Scampanamenti</b>	<b>Estetica e masterbatch su base bio-PE</b>
<b>Esito</b>	OK nelle condizioni standard, prova fallita nel particolare caso dello spazio libero del 2%, test richiesto da un cliente specifico	OK, anche se valori più bassi rispetto allo standard	OK	Controllo visivo effettuato su quattro colori diversi soddisfacente



## 4. Conclusioni

In questo capitolo verranno esposte le conclusioni relative ai differenti progetti, la presentazione di alcune possibili prosecuzioni degli stessi sulla base di quanto riscontrato, e alcuni pensieri nati nel corso di questo progetto di tesi.

I test eseguiti usando il polietilene da fonte rinnovabile sull'anellino della chiusura Spring hanno avuto esito positivo, per questo si è scelto di procedere con i test su scala industriale con questo materiale, in modo da poter risolvere i dubbi relativi alla sua industrializzazione e sostenibilità economica, valutata in confronto con l'attuale materiale da fonte petrolifera. Il prodotto così ottenuto avrebbe il vantaggio di usare polimero da fonte rinnovabile, con potenziali miglioramenti anche dal punto di vista delle emissioni di CO<sub>2</sub> relative alla chiusura Spring. Infatti, queste potrebbero essere ridotte fino a valori negativi: per produrre la chiusura potrebbe essere assorbita una certa quantità di anidride carbonica invece che essere emessa (sommando i totali delle emissioni nel ciclo). Questo è in fase di valutazione tramite uno studio LCA, in particolare analizzando le emissioni relative al trasporto del materiale, che essendo prodotto in Brasile, spedito in paesi Nord-Europei via nave ed infine trasportato in uno stabilimento di produzione, potrebbero avere un impatto non indifferente sulle emissioni totali: lo studio del ciclo di vita di un prodotto deve infatti considerare tutti gli aspetti produttivi e logistici.

Per quanto riguarda i test effettuati con i materiali compostabili sull'anellino della chiusura Spring, invece gli esiti sono stati al momento negativi. Ora si procederà con lo sviluppo di nuove formulazioni con proprietà meccaniche più adatte alla funzione TE, e quando si raggiungerà il risultato atteso, si procederà con le modifiche sulla figura per compensare i differenti ritiri. A questo punto sorge un dubbio: mantenere la stessa geometria, fornendo un prodotto esteticamente identico, oppure modificare la geometria per far passare il messaggio che questo oggetto è diverso e catturare per quanto possibile l'attenzione del consumatore? Non è una scelta semplice, ma partendo dal fatto che è stato deciso che per via dei tempi ciclo lunghi e dei costi del materiale si limiterebbe la produzione a lotti più piccoli rispetto a quanto accade con lo standard, la creazione di figure dedicate con geometrie nuove potrebbe essere presa in considerazione. Tuttavia, prima di procedere con modifiche così importanti, sarà opportuno incontrare i potenziali clienti interessati e capire se questa scelta di polimero, eventuale nuovo design e del trattamento a fine vita del prodotto, sarebbe ben accolta o scartata in partenza.

I test eseguiti sulla Mars in Bio-PE, come prevedibile confrontando i polimeri della versione iniziale col mono-polimero, hanno permesso di capire quale direzione devono prendere le modifiche da eseguire per raggiungere il corretto funzionamento della chiusura. Al di là della correzione dei ritiri, si dovrà intervenire sulla geometria del componente per risolvere i problemi riscontrati (come il contatto tra filetto del tappo e il collo della bottiglia, o l'inclinazione della chiusura per la geometria del filetto ad unico principio); inoltre, le indagini relative al malfunzionamento del wad sembrano indicare una geometria che non permette il corretto posizionamento degli elementi di tenuta sul vetro, che andranno riposizionati all'esterno. Inoltre, portando a termine questo progetto, si creerà l'esperienza necessaria per poter procedere con chiusure più complesse.

Per quanto riguarda la Mars in materiale compostabile invece, si testeranno nuove formulazioni sul wad in modo da risolvere i problemi di estrazione. Una volta definita la formulazione più adatta, si approfondirà la possibilità del materiale di venire a contatto con bevande alcoliche, eseguendo prove di migrazione insieme a laboratori esterni. Per quanto riguarda tappo e sovratappo invece verrà probabilmente eseguita una modifica più radicale: dato che lo spessore dell'assemblato non è trascurabile, è sorto il dubbio che la chiusura ottenuta con tre componenti non sia degradabile nei tempi previsti dalla normativa, per questo si è preso in considerazione di accorpare tappo e sovratappo in un solo componente con spessori ridotti, permessi dalla maggiore rigidità del materiale. In questo modo si risolverebbe il problema alla radice, ma con una maggiore complessità della meccanica dello stampo. Al momento di stesura della tesi la geometria suddetta è in corso di studio, in fase di definizione.

Infine, per la Bikini in Bio-PE, sono già state previste le nuove geometrie atte a risolvere il problema delle alette tamper evident del tappo. Il problema della prova di tenuta nel particolare caso di un volume

libero del 2% non è considerato primario, verranno modificate le bavette di tenuta, anche se non è una soluzione strettamente necessaria per la validazione della chiusura. Purtroppo, lo stampaggio di questa versione dipende dalla disponibilità degli stampi di produzione, che al momento della stesura della tesi sono saturi. La nuova geometria prevede la giunzione delle alette a coppie, in modo da renderle più rigide e bistabili, cioè obbligandole a mantenere la posizione risvoltata una volta raggiunta nella macchina di assemblaggio. Attualmente non si prevede di creare una versione di questa chiusura in materiali biodegradabili.

Complessivamente, si può concludere che l'inserimento dei biopolimeri nel settore delle chiusure non è semplice e immediato, ma nemmeno impossibile. All'inizio del progetto, si era supposto che l'applicazione dei materiali biodegradabili non sarebbe stata semplice, mentre per i polimeri più tradizionali prodotti a partire da fonti rinnovabili, non si sarebbero riscontrati problemi. Tuttavia, come già dibattuto, l'esito non è stato esattamente quello previsto. Introdurre un polimero biobased come il bio-PE può dare esito positivo se usato in sostituzione di un polietilene tradizionale, anche se si deve considerare che ogni grado disponibile sul mercato è dotato di proprietà meccaniche e fisiche diverse, e per quanto le differenze nelle proprietà possano sembrare contenute tra un grado e l'altro, i risultati ottenibili con dei materiali differenti possono variare notevolmente (infatti, come si è visto nel caso della chiusura Spring i risultati sono stati positivi, non si può dire lo stesso del Wad Mars). Sarebbe invece più sorprendente andare a sostituire classi polimeriche completamente diverse senza modifiche nella geometria dei componenti ed ottenere risultati completamente positivi. Agire così permette di valutare alcune proprietà del materiale in studio (come la lavorabilità, gli odori o l'aspetto estetico in seguito allo stampaggio), tuttavia si rischia di trarre conclusioni affrettate, avvilenti nei confronti delle effettive potenzialità di questo tipo di polimeri. Il discorso è valido anche nel caso dei polimeri biodegradabili, tuttavia, essendo materiali particolarmente diversi rispetto a quanto usato storicamente in questo settore, studi preliminari come quelli effettuati nell'ambito di questa tesi sono assolutamente necessari per poterli inserire al meglio nel contesto industriale. Nonostante gli esiti non sempre conclusivi delle prove, i risultati ottenuti in queste fasi preliminari sono soddisfacenti, i problemi riscontrati non sono insormontabili e non si individuano limiti assoluti nell'applicazione industriale dei materiali usati. Indubbiamente, però, saranno necessarie modifiche o addirittura nuovi concept per poter procedere al meglio, e proprio con la finalità di generare prodotti validi, si devono prima generare le conoscenze necessarie. Si riporta in figura 4.1 una foto di tutte le chiusure ottenute alla fine di questo progetto di tesi. I granuli su cui le chiusure sono appoggiate sono di HDPE SHC 7260 miscelato con il master azzurro su base Bio-PE.



**Figura 4.27** - Insieme delle chiusure ottenute durante il progetto di tesi, posate su un letto di granuli di Bio-PE

Dal punto di vista didattico questo progetto di tesi può essere visto come uno studio sull'applicabilità dei biopolimeri in un particolare settore industriale, un ramo specifico del packaging, ovvero quello delle chiusure. Il focus del lavoro è stato centrato sulle analisi relative alle implicazioni funzionali e di compatibilità coi prodotti contenuti nel packaging, lavorando molto sull'individuazione delle differenze prestazionali e analizzando le possibili soluzioni. Tuttavia, è bene sottolineare che il tema alla base di tutto ciò che è stato svolto, il vero fulcro attorno a cui ruota il progetto, è la Sostenibilità, o meglio, lo Sviluppo Sostenibile. Nei mesi trascorsi durante la stesura dell'elaborato sono innumerevoli le volte in cui si è dibattuto su cosa sia davvero sostenibile, sia dal punto di vista del consumo delle risorse, che dal punto di vista del trattamento a fine vita del packaging. L'obiettivo finale, posto ben oltre la fine di queste pagine, è l'ottenimento di una gamma di chiusure sostenibili. La domanda più saggia da porsi a questo punto è: "come è fatta una chiusura sostenibile?", tuttavia, la risposta a questo interrogativo non è stata ancora trovata. Non perché non sia stata cercata, al contrario, come già visto sono state individuate una serie di strade percorribili per raggiungere lo scopo: tuttavia la scelta di quella "giusta" dipende da molti fattori, da quelli culturali e sociali a quelli relativi ai sistemi di riciclo e trattamento dei rifiuti, a quelli relativi alle abitudini di acquisto. Le soluzioni in oggetto dello studio hanno considerato in primis l'aspetto legato alle risorse. Durante la fase di selezione dei materiali da fonte rinnovabile sono nati dubbi relativi al tipo di risorse utilizzate per produrre questi polimeri. Infatti, i prodotti disponibili sul mercato sono raggruppabili in due categorie: polimeri solo parzialmente biobased, in cui la parte rinnovabile è prodotta utilizzando scarti di alcuni tipi di industria (ad esempio scarti di oli alimentari o scarti dell'industria cartiera), o polimeri completamente biobased, prodotti tuttavia dedicando intere aree agricole per la coltivazione delle piante necessarie per la produzione del materiale stesso. Nel primo caso, i polimeri parzialmente biobased non sono sembrati un'alternativa soddisfacente, in quanto necessitano comunque di una data quantità di risorse fossili. Nel secondo caso sono sorti dubbi relativi all'effettiva sostenibilità nel dedicare aree di terreno agricolo per la produzione di materiale plastico, chiedendosi se questi terreni non fossero destinabili ad altre attività (anche legate alla produzione di alimenti) e che vantaggi possono avere le popolazioni coinvolte in questi processi produttivi. A questi dubbi sono state date risposte dai produttori dei polimeri stessi, accompagnate da ampie documentazioni e certificazioni, risultando più efficaci per il conseguimento degli obiettivi posti da Guala Closures. In entrambi i casi, non si vede raggiungibile il target di circolarità posto per il lungo termine, ostacolato anche da altri fattori. I materiali attualmente disponibili sul mercato provenienti dal riciclo di plastica post-consumo non sono idonei per il food contact (ad eccezione del PET, materiale tuttavia non usato nei prodotti Guala Closures per via delle proprietà meccaniche inadatte e della lavorabilità non idonea ai processi applicati), ad anche se ottenessero le certificazioni per il contatto con gli alimenti, si dovrebbero comunque eliminare gli odori che spesso accompagnano questi materiali, così come eventuali cessioni di gusto. I polimeri di maggiore interesse per raggiungere la circolarità nell'approvvigionamento delle materie prime diventano quindi quelli prodotti tramite riciclo chimico dei rifiuti, gradi oggi disponibili in quantità troppo limitate; inoltre sono da verificare l'impatto e la sostenibilità di questo tipo di processo, analizzando i consumi energetici, la quantità e il tipo di scarti derivanti da essi, così come i tipi di additivi necessari ed il loro effetto sull'ambiente durante l'intero ciclo. Senza quindi aver risolto il dubbio su quali siano le materie prime (o prime seconde) utilizzabili per entrare in modelli di economia circolare per lo sviluppo sostenibile, si deve considerare la coda del cerchio, cioè la gestione e lo smaltimento dei rifiuti, o meglio la loro riconversione in materie utili. Per alcuni tipi di packaging, così come per alcuni tipi di materiale, i processi sono assodati e (quasi) efficienti e sostenibili. Tuttavia, è noto che i polimeri non siano del tutto compresi nell'insieme, e le chiusure ancor di meno. Il primo appunto che potrebbe essere fatto sulla base di quanto riportato sul riciclo è proprio relativo ai materiali usati: perché non passare a chiusure completamente in alluminio? Questa è sicuramente una soluzione su cui si sta investendo (e già in parte offerta), anche se per garantire la tenuta è sempre necessario un liner, il quale prevede inevitabilmente l'uso dei polimeri per impermeabilizzare e sigillare perfettamente, anche se in quantità ridotte e irrilevanti ai fini del riciclo della chiusura a fine vita. Questa scelta però penalizzerebbe le funzioni di anticontraffazione, in particolare i sistemi di anti-riempimento, che sono composti da numerosi componenti necessariamente in plastica. Omettendo queste funzioni, sicuramente si andrebbero a recare danni sia dal punto di vista sociale che economico in quanto si renderebbe assurdamente semplice la contraffazione (si rimanda a quanto esposto nel capitolo 1, sia alla quantità di denaro coinvolta che al numero di morti causate dalla contraffazione di alcolici). Assodato quindi che i materiali polimerici sono necessari, e con le attuali tecnologie non si vedono sostituiti per garantire sostenibilità e circolarità, si deve considerare che attualmente la parte plastica delle chiusure

non viene riciclata. In parte questo è dovuto al fatto che sono presenti più polimeri nello stesso prodotto, e dato che i componenti sono progettati per non essere facilmente disassemblati, questo va a rendere difficili le fasi di separazione dei materiali, rendendo potenzialmente inefficiente il processo, andando eventualmente ad inquinare il polimero riciclato. Inoltre, le chiusure vengono spesso smaltite nella filiera di riciclo del vetro, in cui queste vengono vagliate in partenza e automaticamente mandate negli scarti destinati a incenerimento o discarica. Mentre il primo fattore può essere risolto da Guala Closures stessa (non per caso si stanno studiando le chiusure monomateriale, come già ampiamente discusso), il secondo sfortunatamente dipende da altre, troppe, entità. In primis, la mancanza di uno standard reale nei metodi di raccolta dei rifiuti applicato su macroaree rende impossibile la progettazione di un prodotto inequivocabilmente riciclabile: persino all'interno della stessa città i metodi variano a seconda del quartiere, in alcuni casi alluminio e plastica vengono raccolti assieme, in altri separati. Si potrebbe progettare un range di chiusure che vadano ad assecondare le varie metodologie senza perdere le proprie qualità e funzionalità, ma si dovrebbero gestire nuovi problemi: il primo è un banale fattore logistico, frammentare la distribuzione dei prodotti non è scontato ed economicamente non sostenibile. L'aspetto del waste management non può essere risolto dai produttori di beni di consumo, così come non può essere coordinato dagli stessi. Quindi entrano in gioco gli enti governativi, generando normative, fondi e strumenti per raggiungere e garantire l'obiettivo di una gestione efficiente dei rifiuti. Raggiungendo la condizione ideale di un sistema di raccolta idoneo al trattamento delle chiusure a fine vita, per poter raggiungere la condizione di circolarità sarebbe necessario indirizzare questi rifiuti al riciclo chimico, come già discusso precedentemente. Proprio con quest'ultimo dettaglio si genera uno spiraglio di speranza, che rende meno utopistico e lontano l'obiettivo di circolarità: se i sistemi di riciclo chimico diventassero una realtà estesa, e se come feedstock si usassero gli scarti polimerici degli altri centri di riciclo, i problemi finora evidenziati verrebbero in buona parte bypassati. Tornando nuovamente alla realtà, anche se si generassero le condizioni, resta un ultimo fondamentale problema, questa volta di carattere sociale e educativo: il modo che le persone, i consumatori, hanno di gestire i propri rifiuti. Non tutti possiedono la sensibilità e la cultura per comprendere i danni che la propria noncuranza può causare. Nel progettare le chiusure sostenibili più volte sono state ideate soluzioni per la fine vita del prodotto immediatamente scartate in quanto prevedevano troppe azioni da parte del consumatore per essere efficienti. Proprio sulla base di questo, sorgono molti dubbi sull'applicabilità dei materiali biodegradabili e compostabili: al di fuori dell'utilizzo del tipo di risorse (già discusso), tralasciando l'aspetto economico nell'uso di questi materiali, si dubita sull'effettiva circolarità di questi materiali per le chiusure, non tanto per il fatto che il compost generato dalla degradazione delle chiusure non verrà necessariamente usato per le stesse coltivazioni che andranno poi a generare la materia prima per le stesse, ma per l'effettivo compimento del compostaggio (come già detto, solo nel caso italiano la distribuzione degli impianti tutt'altro che uniforme), e per la confusione che spesso nasce tra biodegradazione e compostaggio. Il dubbio che si ha nel fornire questo genere di prodotti riguarda proprio questo fatto: anche se la comunicazione sul prodotto fosse eseguita limpidamente, senza possibilità di fraintendimento, c'è il rischio che il prodotto venga percepito come "biodegradabile" nell'accezione errata che disperdendo il prodotto nell'ambiente non si vadano a causare danni. Attualmente ci si deve limitare al compostaggio industriale, in quanto gli spessori tipicamente impiegati nelle chiusure sono eccessivi per garantire l'effettiva biodegradazione secondo normativa negli altri casi (home, soil e marine), quindi mantenendo il dubbio relativo all'efficacia di tale soluzione.

Complessivamente, non esiste un'unica soluzione, ma al termine di questo elaborato può essere più chiaro il processo che ha portato alla definizione delle cinque strade per la progettazione di chiusure sostenibili e come si sia tentato di percorrerle tutte. Il percorso di questa tesi copre molti aspetti non solo tecnici che hanno richiesto molto tempo di analisi. Ed è proprio nell'ottica di fornire il risultato migliore, di dare soluzioni efficaci e durature nel tempo, che si è scelto di trattare a lato delle sfide tecniche con ugual serietà gli aspetti morali e sociologici, per non trascurare la portata delle conseguenze delle proprie decisioni. Solo col tempo si vedrà quali delle soluzioni proposte saranno quelle "giuste". Questa tesi è un tratto di un percorso molto ampio e lungo che l'azienda ha intrapreso nella ricerca di soluzioni di packaging sostenibile, ed è quindi una foto di un tratto di un lavoro molto più lungo, finalizzato allo studio, messa punto e commercializzazione di queste soluzioni.

## 5. Bibliografia

- [1]: United Nations, 2015, Paris Agreement, Articolo 10.5;
- [2]: Guala Closures Group, 2019, Sustainable Development Annual Report 2018;
- [3]: Guala Closures Group, Save the Spirits, Effetti, link: <https://www.savethespirits.com/category/scenario/#gli-effetti-2>, ultima visita 18/10/2019;
- [4]: Treccani, Enciclopedia Online, Sostenibilità, link: <http://www.treccani.it/enciclopedia/sostenibilita>, ultima visita 27/10/2019;
- [5]: United Nations, 1987, Our Common Future, From One Earth to One World, Sustainable Development;
- [6]: Pernod-Ricard, 2019, Universal Registration Document, 3. Sustainability and Responsibility;
- [7]: Diageo, 2019, Sustainability and Responsibility Performance Addendum to the Annual Report 2019;
- [8]: Eurostat, 2019, Packaging Waste Statistics, link: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging\\_waste\\_statistics#Waste\\_generation\\_by\\_packaging\\_material](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics#Waste_generation_by_packaging_material), ultima visita 25/11/2019;
- [9]: Parlamento Europeo, 2018, Economia Circolare: definizione, importanza e vantaggi, link: <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>, ultima visita 29/11/2019;
- [10]: Ellen MacArthur Foundation, 2017, Circular Economy, What is Circular Economy, link: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>, ultima visita 29/11/2019;
- [11]: United Nations, 2015, Trasformare il Nostro Mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, Obiettivi per lo sviluppo sostenibile e traguardi;
- [12]: Ellen MacArthur Foundation, Material Economics, 2019, Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change, Chapter 2: The circular economy has a major role to play in meeting climate targets;
- [13]: Commissione Europea, 2019, Circular Economy, link: [https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy\\_en](https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy_en), ultima visita 03/12/2019;
- [14]: Commissione Europea, 2016, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, Il futuro sostenibile dell'Europa: prossime tappe, L'azione europea a favore della sostenibilità;
- [15]: Commissione Europea, 2015, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare;
- [16]: Commissione Europea, 2018, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, Strategia europea per la plastica nell'economia circolare;
- [17]: Plastics Europe, 2018, Plastics – The Fact 2018, An analysis of European plastics production, demand and waste data;
- [18]: Ellen MacArthur Foundation, 2019, New Plastic Global Commitment, June 2019 Report;
- [19]: Ellen MacArthur Foundation, New Plastics Economy, A Vision For A Circular Economy For Plastics;

- [20]: European Bioplastics, Bioplastics, What Are Bioplastics?, link: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, ultima visita 16/01/2020;
- [21]: Beta Analytic, 2020, Understanding Carbon-14 Analysis, link: <https://www.betalabservices.com/biobased/carbon14-dating.html>, ultima visita 23/01/2020;
- [22]: Enciclopedia Treccani, Biodegradazione, link: <http://www.treccani.it/enciclopedia/biodegradazione/>, ultima visita: 23/01/2020;
- [23]: Enciclopedia Treccani, Compostaggio, link: <http://www.treccani.it/enciclopedia/compostaggio/>, ultima visita 24/01/2020;
- [24]: European Bioplastics, 2015, Background: EN 13432 Certified Bioplastics, Performance in Industrial Composting;
- [25]: Advanced Polymer Materials, Biodegradabilità EN ISO 13432, link: [http://www.apmlab.com/1/biodegradabilita\\_888352.html](http://www.apmlab.com/1/biodegradabilita_888352.html), ultima visita 24/01/2020;
- [26]: Syed Ali Ashter, 2016, *Introduction to Bioplastics Engineering*, Elsevier Inc, [ISBN: 978-0-323-39396-6];
- [27]: Braskem, 2019, I'm Green™ Polyethylene Brochure;
- [28]: Macedo I., Seabra J., E4Tech, LCA Works, 2013, Environmental Assessment of Braskem's biobased PE resin,;
- [29]: Han Jung H., 2014, *Innovation in Food Packaging*, Elsevier, [ISBN: 978-0-12-394601-0];
- [30]: Faruk O., Tjong J., Sain M., 2017, *Lightweight and Sustainable Materials for Automotive Applications*, CRC Press, Boca Raton, USA;
- [31]: Coca-Cola Italia, 2015, PlantBottle: Coca-Cola presenta a Expo la prima bottiglia al 100% vegetale, link: <https://www.coca-colaitalia.it/storie/plantbottle-coca-cola-presenta-a-expo-la-prima-bottiglia-al-100-vegetale>, ultima visita 17/01/2020;
- [32]: Ross G., Ross S., Tighe B., 2017, Bioplastics: New Routes, New Products, in *"Brydson's Plastics Material, 8<sup>th</sup> Edition"*, capitolo 23, Elsevier, Massachusetts, USA;
- [33]: Pracella M., 2017, Blends and Alloys, in *"Modification of Polymer Properties"*, capitolo 7, Elsevier, Massachusetts, USA;
- [34]: Beena Sethi, 2017, *Recycling of Polymers: Methods, Characterization and Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH;
- [35]: Sabic, 2019, *Sabic Showcase Leading Edge Certified Circular Solutions at K-2019*, link: <https://www.sabic.com/en/news/19128-sabic-to-showcase-leading-edge-certified-circular-solutions-at-k2019>, ultima visita 20/01/2020;
- [36]: Corepla, Attività del Consorzio, La selezione, link: <http://www.corepla.it/la-selezione-il-passaggio-chiave-verso-il-riciclo>, ultima visita 16/01/2020;
- [37]: Cial, 2015, Recupero e Riciclo dei tappi in alluminio, link: <https://www.youtube.com/watch?v=I4mN0RJrogQ>, ultima visita 16/01/2020;
- [38]: ATA Rifiuti, *Impianto di Trattamento Meccanico-Biologico RSU, Digestione Anaerobica e compostaggio FORSU, Progetto Preliminare*, Marche, Italia;
- [39]: Consorzio Italiano Compostatori, 2017, *Dati di Settore*;
- [40]: European Bioplastics, Waste Management, Composting, link: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/composting/>, ultima visita 27/01/2020;

## Appendice I – Schede tecniche dei materiali usati

Si riportano in questa appendice le schede tecniche complete dei materiali usati nell'ambito dei progetti di tesi. I materiali Braskem sono materiali standard, disponibili sul mercato, mentre i materiali forniti da MAIP sono stati sviluppati appositamente per il progetto.



**Data Sheet**  
Review 1 (September/14)

### Low Density Polyethylene SPB681

#### Description:

SPB681 is a low density polyethylene produced under high pressure technology. Films obtained with this product show excellent 'draw down', good sealability, and low gel content. Additives free. The minimum biobased content of this grade is 95%, determined according to ASTM D6866.

#### Applications:

LLDPE and HDPE blends.

Flexible containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).

#### Process:

Blown and Cast Film Extrusion. Injection molding.

#### Control Properties:

	ASTM Method	Units	Values
Melt Flow Rate (190/2.160)	D 1238	g/10 min	3.8
Density	D 1505	g/cm <sup>3</sup>	0.922

#### Properties:

Blow Film Properties<sup>a</sup>

	ASTM Methods	Units	Values
Ultimate Strength (MD/TD)	D 882	MPa	30/20
Elongation at Break (MD/TD)	D 882	%	370/1070
Dart Drop Impact	D 1709	g/F50	60
Elmendorf Tear Strength (MD/TD)	D 1922	gF	NDb/100
Haze	D 1003	%	4
Gloss - Angle 60°	D 2457	%	120

(a) Obtained in 75mm extruder, blow up ratio 2:1, die gap 1.0mm and 38µm thickness. (MD: Machine direction; TD: Transversal direction).

(b) ND: Not Determined.

## High Density Polyethylene SHC7260

### Description:

SHC7260 is a high-density polyethylene, developed for the injection molding which presents high hardness and stiffness, besides low tendency to warpage.

The minimum biobased content of this grade is 94%, determined according to ASTM D6866.

### Application:

Boxes for frozen food and agricultural products, industrial containers and boxes for general use, Safety Helmets, Toilet seats, Housewares, Toys, Lids, Caps & Closures, Pallets and Boxes for beverages bottles.

Rigid containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).

### Process:

Injection Molding.

### Control Properties:

	ASTM Methods	Units	Values
Melt Flow Rate (190/2.16)	D 1238	g/10 min	7.2
Density	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0.959

### Typical Properties:

#### Plaque Properties<sup>a</sup>

	ASTM Methods	Units	Values
Tensile Strength at Yield	D 638	MPa	30
Tensile Elongation at Yield	D 638	%	7.5
Flexural Modulus – 1% Secant	D 790	MPa	1350
Shore D Hardness	D 2240	-	64
Notched Izod Impact Strength	D 256	J/m	35
Environmental Stress Cracking Resistance <sup>b</sup>	D 1693	h/F50	< 4
Vicat Softening Temperature at 10 N	D 1525	°C	126
Deflection Temperature under Load at 0.455 MPa	D 648	°C	76

(a) Test specimens prepared from compression molded sheet made according to ASTM D 4703.

(b) Compression molded 2 mm thickness, 0.3 mm notched-plaques; 100% Igepal; 50°C

DESCRIZIONE/DESCRIPTION	provisional	data di emiss./date of issue	03/10/2019
PBS stampaggio ad iniezione, usi generali			
PBS for injection molding, general purpose.			

PROPRIETÀ	PROPERTIES	METODO STANDARD	UNITA' UNIT	COND.PROVA TEST COND.	
<b>PROPRIETÀ GENERALI</b>	<b>BASIC PROPERTIES</b>				
Contenuto di carica	Ash content	ISO 3451-1	%	Met. A	-
Densità	Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	23° Met. A	<b>1,24</b>
Indice di fluidità	Melt Mass Flow (MFR)	ISO 1133-2	g/10min	190°C; 2,16kg	<b>22</b>
Ritiro allo stampaggio long.	Parallel mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
Ritiro allo stampaggio trasv.	Across mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
<b>PROPRIETÀ TERMICHE</b>	<b>THERMAL PROPERTIES</b>				
CLTE longitudinale	CLTE parallel	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
CLTE trasversale	CLTE across	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
Temperatura di fusione	Melting point	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>85</b>
Temperatura di transizione vetrosa	Glass Transition Temp.	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	-
Vicat, Temp. di rammollimento	Vicat, Softening Temp.	ISO 306	°C	1/5kg-50°C/h	-/-
Temp.di distorsione sotto carico	Heat Distorsion Temp.	ISO 75	°C	0.45/1.8 MPa	<b>63/-</b>
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>				
Resistenza a snervamento	Stress at yield	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	-
Modulo elastico a trazione	Tensile Modulus	ISO 527-1-2	MPa	v=1mm/min	-
Carico di rottura a trazione	Tensile stress at break	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	<b>25</b>
Allungamento a trazione	Strain at break	ISO 527-1-2	%	v=50mm/min	<b>450</b>
Carico a flessione	Flexural strength	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>20</b>
Modulo elastico a flessione	Flexural modulus	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>300</b>
Urto Izod senza intaglio	Izod impact strength	ISO 180-1U	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
Urto Izod con intaglio	Izod notched impact	ISO 180-1A	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	<b>40</b>
Urto Charpy con intaglio	Charpy notched impact	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
<b>ALTRE PROPRIETÀ'</b>	<b>OTHER PROPERTIES</b>				
Grado di infiammabilità	Flammability	UL-94	Class.	/mm	<b>HB</b>
Velocità di combustione	Burning rate	ISO 3795	mm/min	FMVSS302	-
G.W.F.I.	G.W.F.I.	IEC 60695	°C/mm		-
Resistività superficiale /Volume	Surface / Volume Resistivity	IEC 60093	ohm-ohm/cm		-/-
Conducibilità termica	Thermal conductivity		W/(mK)	in/trough plane	-
Durezza (Rockwell)	Hardness (Rockwell)	ISO 2039-2	R		<b>42</b>
Trasmittanza	Transmittance	ISO 13468	%	/mm	-
Opacità H	Haze H	ISO 14782	% / GU	/mm	-
Gloss G	Gloss G	Erichsen		60° angle	-
<b>PARAMETRI DI LAVORAZIONE</b>	<b>PROCESSING CONDITIONS</b>				
Temperatura di essiccazione	Drying temperature	-	°C		<b>70</b>
Tempo di essiccazione	Drying time	-	h		<b>3-6</b>
Contenuto di umidità	Moisture content	internal	ppm		<b>200-400</b>
Temperatura massa fusa	Melt temperature	-	°C		<b>130-150</b>
Temperatura stampo	Mould temperature	-	°C		-

**Disclaimer**

ENG - This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights or third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. This product is not designated for the manufacture of medical devices / in-vitro medical devices or for their intermediate products. This product is also not designated for Food Contact. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold and our advisory service is given in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery. Please read the MATERIAL SAFETY DATA SHEET "MSDS" before using this product.

Test values: The numerical data described are average values obtained by measurement under prescribed conditions; they are not guaranteed values and must be regarded as guide values only and not as binding minimum values. The above data refer to the use of the product in natural colour. Under certain conditions the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mould/die, the processing conditions and the colouring.

ITA - Queste informazioni e i nostri suggerimenti tecnici, verbali, scritti o di prova, sono forniti in buona fede ma senza garanzia alcuna, e ciò vale anche laddove siano coinvolti diritti proprietari o terzi. I nostri suggerimenti non vi sollevano dall'obbligo di verificare quanto fornito - specialmente quelle contenute nei nostri dati di sicurezza e schede tecniche - e di testare i nostri prodotti in merito alla loro idoneità per i processi e gli usi previsti. Questo prodotto non è idoneo per la fabbricazione di un dispositivo medico / medico diagnostico in-vitro o di loro prodotti intermedi. Questo prodotto non è idoneo per il contatto alimentare. L'applicazione, uso e lavorazione dei nostri prodotti e i componenti prodotti da voi coi nostri materiali e sulla base delle nostre raccomandazioni tecniche non dipendono dal nostro controllo e quindi sono interamente sotto la vostra responsabilità. I nostri prodotti sono venduti in conformità con la versione attuale delle nostre Condizioni generali di vendita e consegna. Leggere la SCHEDA TECNICA DI SICUREZZA "MSDS" prima di utilizzare questo prodotto.

Valori di prova: I dati numerici descritti sono valori medi ottenuti mediante prove di laboratorio nelle condizioni descritte; non sono valori garantiti, ma vanno considerati solo come valori guida e non come valori minimi vincolanti. Le presenti informazioni sono relative come d'uso a prodotto in versione naturale.

In determinate condizioni le proprietà possono essere influenzate in misura considerevole dalla progettazione dello stampo, dal sistema di iniezione, dalle condizioni di lavorazione e dalla colorazione.

DESCRIZIONE/DESCRIPTION	provisional	data di emiss./date of issue	03/10/2019
PBS per estrusione, usi generali			
PBS for extrusion, general purpose.			

PROPRIETÀ	PROPERTIES	METODO STANDARD	UNITA' UNIT	COND.PROVA TEST COND.	
<b>PROPRIETÀ GENERALI</b>	<b>BASIC PROPERTIES</b>				
Contenuto di carica	Ash content	ISO 3451-1	%	Met. A	-
Densità	Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	23° Met. A	<b>1,25</b>
Indice di fluidità	Melt Mass Flow (MFR)	ISO 1133-2	g/10min	190°C; 2,16kg	<b>5</b>
Ritiro allo stampaggio long.	Parallel mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
Ritiro allo stampaggio trasv.	Across mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
<b>PROPRIETÀ TERMICHE</b>	<b>THERMAL PROPERTIES</b>				
CLTE longitudinale	CLTE parallel	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
CLTE trasversale	CLTE across	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
Temperatura di fusione	Melting point	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>105</b>
Temperatura di transizione vetrosa	Glass Transition Temp.	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>-40</b>
Vicat, Temp. di rammollimento	Vicat, Softening Temp.	ISO 306	°C	1/5kg-50°C/h	<b>-/-</b>
Temp. di distorsione sotto carico	Heat Distorsion Temp.	ISO 75	°C	0.45/1.8 MPa	<b>85/-</b>
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>				
Resistenza a snervamento	Stress at yield	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	-
Modulo elastico a trazione	Tensile Modulus	ISO 527-1-2	MPa	v=1mm/min	-
Carico di rottura a trazione	Tensile stress at break	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	<b>32</b>
Allungamento a trazione	Strain at break	ISO 527-1-2	%	v=50mm/min	<b>290</b>
Carico a flessione	Flexural strength	ISO 178	MPa	v=2mm/min	-
Modulo elastico a flessione	Flexural modulus	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>500</b>
Urto Izod senza intaglio	Izod impact strength	ISO 180-1U	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
Urto Izod con intaglio	Izod notched impact	ISO 180-1A	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	<b>20</b>
Urto Charpy con intaglio	Charpy notched impact	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
<b>ALTRE PROPRIETÀ'</b>	<b>OTHER PROPERTIES</b>				
Grado di infiammabilità	Flammability	UL-94	Class.	/mm	<b>HB</b>
Velocità di combustione	Burning rate	ISO 3795	mm/min	FMVSS302	-
G.W.F.I.	G.W.F.I.	IEC 60695	°C/mm		-
Resistività superficiale /Volume	Surface / Volume Resistivity	IEC 60093	ohm-ohm/cm		<b>-/-</b>
Conducibilità termica	Thermal conductivity		W/(mK)	in/trough plane	-
Durezza (Rockwell)	Hardness (Rockwell)	ISO 2039-2	R		<b>85</b>
Trasmittanza	Transmittance	ISO 13468	%	/mm	-
Opacità H	Haze H	ISO 14782	% / GU	/mm	-
Gloss G	Gloss G	Erichsen		60° angle	-
<b>PARAMETRI DI LAVORAZIONE</b>	<b>PROCESSING CONDITIONS</b>				
Temperatura di essiccazione	Drying temperature	-	°C		<b>70</b>
Tempo di essiccazione	Drying time	-	h		<b>3-6</b>
Contenuto di umidità	Moisture content	internal	ppm		<b>200-400</b>
Temperatura massa fusa	Melt temperature	-	°C		<b>130-150</b>
Temperatura stampo	Mould temperature	-	°C		-

**Disclaimer**

ENG - This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights or third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. This product is not designated for the manufacture of medical devices / in-vitro medical devices or for their intermediate products. This product is also not designated for Food Contact. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold and our advisory service is given in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery. Please read the MATERIAL SAFETY DATA SHEET "MSDS" before using this product.  
**Test values:** The numerical data described are average values obtained by measurement under prescribed conditions; they are not guaranteed values and must be regarded as guide values only and not as binding minimum values. The above data refer to the use of the product in natural colour. Under certain conditions the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mould/die, the processing conditions and the colouring.

ITA - Queste informazioni e i nostri suggerimenti tecnici, verbali, scritti o di prova, sono forniti in buona fede ma senza garanzia alcuna, e ciò vale anche laddove siano coinvolti diritti proprietari o terzi. I nostri suggerimenti non vi sollevano dall'obbligo di verificare quanto fornito - specialmente quelle contenute nei nostri dati di sicurezza e schede tecniche - e di testare i nostri prodotti in merito alla loro idoneità per i processi e gli usi previsti. Questo prodotto non è idoneo per la fabbricazione di un dispositivo medico / medico diagnostico in-vitro o di loro prodotti intermedi. Questo prodotto non è idoneo per il contatto alimentare. L'applicazione, uso e lavorazione dei nostri prodotti e i componenti prodotti da voi coi nostri materiali e sulla base delle nostre raccomandazioni tecniche non dipendono dal nostro controllo e quindi sono interamente sotto la vostra responsabilità. I nostri prodotti sono venduti in conformità con la versione attuale delle nostre Condizioni generali di vendita e consegna. Leggere la SCHEDA TECNICA DI SICUREZZA "MSDS" prima di utilizzare questo prodotto.  
**Valori di prova:** I dati numerici descritti sono valori medi ottenuti mediante prove di laboratorio nelle condizioni descritte; non sono valori garantiti, ma vanno considerati solo come valori guida e non come valori minimi vincolanti. Le presenti informazioni sono relative come d'uso a prodotto in versione naturale.  
 In determinate condizioni le proprietà possono essere influenzate in misura considerevole dalla progettazione dello stampo, dal sistema di iniezione, dalle condizioni di lavorazione e dalla colorazione.

DESCRIZIONE/DESCRIPTION	provisional	data di emiss./date of issue	03/10/2019
PBS per stampaggio ad iniezione, per usi generali			
PBS for injection molding, general purpose.			

PROPRIETÀ	PROPERTIES	METODO STANDARD	UNITA' UNIT	COND.PROVA TEST COND.	
<b>PROPRIETÀ GENERALI</b>	<b>BASIC PROPERTIES</b>				
Contenuto di carica	Ash content	ISO 3451-1	%	Met. A	-
Densità	Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	23° Met. A	<b>1,25</b>
Indice di fluidità	Melt Mass Flow (MFR)	ISO 1133-2	g/10min	190°C; 2,16kg	<b>22</b>
Ritiro allo stampaggio long.	Parallel mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
Ritiro allo stampaggio trasv.	Across mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
<b>PROPRIETÀ TERMICHE</b>	<b>THERMAL PROPERTIES</b>				
CLTE longitudinale	CLTE parallel	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
CLTE trasversale	CLTE across	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
Temperatura di fusione	Melting point	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>100</b>
Temperatura di transizione vetrosa	Glass Transition Temp.	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	-
Vicat, Temp. di rammollimento	Vicat, Softening Temp.	ISO 306	°C	1/5kg-50°C/h	-/-
Temp. di distorsione sotto carico	Heat Distorsion Temp.	ISO 75	°C	0.45/1.8 MPa	<b>80/-</b>
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>				
Resistenza a snervamento	Stress at yield	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	-
Modulo elastico a trazione	Tensile Modulus	ISO 527-1-2	MPa	v=1mm/min	-
Carico di rottura a trazione	Tensile stress at break	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	<b>30</b>
Allungamento a trazione	Strain at break	ISO 527-1-2	%	v=50mm/min	<b>310</b>
Carico a flessione	Flexural strength	ISO 178	MPa	v=2mm/min	-
Modulo elastico a flessione	Flexural modulus	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>460</b>
Urto Izod senza intaglio	Izod impact strength	ISO 180-1U	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
Urto Izod con intaglio	Izod notched impact	ISO 180-1A	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	<b>20</b>
Urto Charpy con intaglio	Charpy notched impact	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
<b>ALTRE PROPRIETÀ'</b>	<b>OTHER PROPERTIES</b>				
Grado di infiammabilità	Flammability	UL-94	Class.	/mm	<b>HB</b>
Velocità di combustione	Burning rate	ISO 3795	mm/min	FMVSS302	-
G.W.F.I.	G.W.F.I.	IEC 60695	°C/mm		-
Resistività superficiale /Volume	Surface / Volume Resistivity	IEC 60093	ohm-ohm/cm		-/-
Conducibilità termica	Thermal conductivity		W/(mK)	in/trough plane	-
Durezza (Rockwell)	Hardness (Rockwell)	ISO 2039-2	R		<b>85</b>
Trasmittanza	Transmittance	ISO 13468	%	/mm	-
Opacità H	Haze H	ISO 14782	% / GU	/mm	-
Gloss G	Gloss G	Erichsen		60° angle	-
<b>PARAMETRI DI LAVORAZIONE</b>	<b>PROCESSING CONDITIONS</b>				
Temperatura di essiccazione	Drying temperature	-	°C		<b>70</b>
Tempo di essiccazione	Drying time	-	h		<b>3-6</b>
Contenuto di umidità	Moisture content	internal	ppm		<b>200-400</b>
Temperatura massa fusa	Melt temperature	-	°C		<b>130-150</b>
Temperatura stampo	Mould temperature	-	°C		-

**Disclaimer**

ENG - This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights or third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. This product is not designated for the manufacture of medical devices / in-vitro medical devices or for their intermediate products. This product is also not designated for Food Contact. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold and our advisory service is given in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery. Please read the MATERIAL SAFETY DATA SHEET "MSDS" before using this product.

Test values: The numerical data described are average values obtained by measurement under prescribed conditions; they are not guaranteed values and must be regarded as guide values only and not as binding minimum values. The above data refer to the use of the product in natural colour. Under certain conditions the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mould/die, the processing conditions and the colouring.

ITA - Queste informazioni e i nostri suggerimenti tecnici, verbali, scritti o di prova, sono forniti in buona fede ma senza garanzia alcuna, e ciò vale anche laddove siano coinvolti diritti proprietari o terzi. I nostri suggerimenti non vi sollevano dall'obbligo di verificare quanto fornito - specialmente quelle contenute nei nostri dati di sicurezza e schede tecniche - e di testare i nostri prodotti in merito alla loro idoneità per i processi e gli usi previsti. Questo prodotto non è idoneo per la fabbricazione di un dispositivo medico / medico diagnostico in-vitro o di loro prodotti intermedi. Questo prodotto non è idoneo per il contatto alimentare. L'applicazione, uso e lavorazione dei nostri prodotti e i componenti prodotti da voi coi nostri materiali e sulla base delle nostre raccomandazioni tecniche non dipendono dal nostro controllo e quindi sono interamente sotto la vostra responsabilità. I nostri prodotti sono venduti in conformità con la versione attuale delle nostre Condizioni generali di vendita e consegna. Leggere la SCHEDA TECNICA DI SICUREZZA "MSDS" prima di utilizzare questo prodotto.

Valori di prova: I dati numerici descritti sono valori medi ottenuti mediante prove di laboratorio nelle condizioni descritte; non sono valori garantiti, ma vanno considerati solo come valori guida e non come valori minimi vincolanti. Le presenti informazioni sono relative come d'uso a prodotto in versione naturale.

In determinate condizioni le proprietà possono essere influenzate in misura considerevole dalla progettazione dello stampo, dal sistema di iniezione, dalle condizioni di lavorazione e dalla colorazione.

DESCRIZIONE/DESCRIPTION	provisional	data di emiss./date of issue	16/12/2019
PBS stampaggio ad iniezione, usi generali con carica minerale.			
PBS for injection molding, general purpose, mineral filled.			

PROPRIETÀ	PROPERTIES	METODO STANDARD	UNITA' UNIT	COND.PROVA TEST COND.	
<b>PROPRIETÀ GENERALI</b>	<b>BASIC PROPERTIES</b>				
Contenuto di carica	Ash content	ISO 3451-1	%	Met. A	<b>5</b>
Densità	Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	23° Met. A	<b>1,28</b>
Indice di fluidità	Melt Mass Flow (MFR)	ISO 1133-2	g/10min	190°C; 2,16kg	<b>15</b>
Ritiro allo stampaggio long.	Parallel mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
Ritiro allo stampaggio trasv.	Across mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
<b>PROPRIETÀ TERMICHE</b>	<b>THERMAL PROPERTIES</b>				
CLTE longitudinale	CLTE parallelo	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
CLTE trasversale	CLTE across	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
Temperatura di fusione	Melting point	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>85</b>
Temperatura di transizione vetrosa	Glass Transition Temp.	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	-
Vicat, Temp. di rammollimento	Vicat, Softening Temp.	ISO 306	°C	1/5kg-50°C/h	<b>-/-</b>
Temp.di distorsione sotto carico	Heat Distorsion Temp.	ISO 75	°C	0.45/1.8 MPa	<b>63/-</b>
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>				
Resistenza a snervamento	Stress at yield	ISO 527-1-2	MPa	v=5mm/min	-
Modulo elastico a trazione	Tensile Modulus	ISO 527-1-2	MPa	v=1mm/min	-
Carico di rottura a trazione	Tensile stress at break	ISO 527-1-2	MPa	v=5mm/min	<b>20</b>
Allungamento a trazione	Strain at break	ISO 527-1-2	%	v=5mm/min	<b>240</b>
Carico a flessione	Flexural strength	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>15</b>
Modulo elastico a flessione	Flexural modulus	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>290</b>
Urto Izod senza intaglio	Izod impact strength	ISO 180-1U	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
Urto Izod con intaglio	Izod notched impact	ISO 180-1A	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	<b>15</b>
Urto Charpy con intaglio	Charpy notched impact	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
<b>ALTRE PROPRIETÀ'</b>	<b>OTHER PROPERTIES</b>				
Grado di infiammabilità	Flammability	UL-94	Class.	/mm	<b>HB</b>
Velocità di combustione	Burning rate	ISO 3795	mm/min	FMVSS302	-
G.W.F.I.	G.W.F.I.	IEC 60695	°C/mm		-
Resistività superficiale /Volume	Surface / Volume Resistivity	IEC 60093	ohm-ohm/cm		<b>-/-</b>
Conducibilità termica	Thermal conductivity		W/(mK)	in/trough plane	-
Durezza (Rockwell)	Hardness (Rockwell)	ISO 2039-2	R		-
Trasmittanza	Transmittance	ISO 13468	%	/mm	-
Opacità H	Haze H	ISO 14782	% / GU	/mm	-
Gloss G	Gloss G	Erichsen		60° angle	-
<b>PARAMETRI DI LAVORAZIONE</b>	<b>PROCESSING CONDITIONS</b>				
Temperatura di essiccazione	Drying temperature	-	°C		<b>70</b>
Tempo di essiccazione	Drying time	-	h		<b>3-6</b>
Contenuto di umidità	Moisture content	internal	ppm		<b>200-400</b>
Temperatura massa fusa	Melt temperature	-	°C		<b>130-150</b>
Temperatura stampo	Mould temperature	-	°C		-

**Disclaimer**

ENG - This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights or third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. This product is not designated for the manufacture of medical devices / in-vitro medical devices or for their intermediate products. This product is also not designated for Food Contact. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold and our advisory service is given in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery. Please read the MATERIAL SAFETY DATA SHEET "MSDS" before using this product.  
**Test values:** The numerical data described are average values obtained by measurement under prescribed conditions; they are not guaranteed values and must be regarded as guide values only and not as binding minimum values. The above data refer to the use of the product in natural colour. Under certain conditions the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mould/die, the processing conditions and the colouring.

ITA - Queste informazioni e i nostri suggerimenti tecnici, verbali, scritti o di prova, sono forniti in buona fede ma senza garanzia alcuna, e ciò vale anche laddove siano coinvolti diritti proprietari o terzi. I nostri suggerimenti non vi sollevano dall'obbligo di verificare quanto fornito - specialmente quelle contenute nei nostri dati di sicurezza e schede tecniche - e di testare i nostri prodotti in merito alla loro idoneità per i processi e gli usi previsti. Questo prodotto non è idoneo per la fabbricazione di un dispositivo medico / medico diagnostico in-vitro o di loro prodotti intermedi. Questo prodotto non è idoneo per il contatto alimentare. L'applicazione, uso e lavorazione dei nostri prodotti e i componenti prodotti da voi coi nostri materiali e sulla base delle nostre raccomandazioni tecniche non dipendono dal nostro controllo e quindi sono interamente sotto la vostra responsabilità. I nostri prodotti sono venduti in conformità con la versione attuale delle nostre Condizioni generali di vendita e consegna. Leggere la SCHEDA TECNICA DI SICUREZZA "MSDS" prima di utilizzare questo prodotto.  
**Valori di prova:** I dati numerici descritti sono valori medi ottenuti mediante prove di laboratorio nelle condizioni descritte; non sono valori garantiti, ma vanno considerati solo come valori guida e non come valori minimi vincolanti. Le presenti informazioni sono relative come d'uso a prodotto in versione naturale.  
 In determinate condizioni le proprietà possono essere influenzate in misura considerevole dalla progettazione dello stampo, dal sistema di iniezione, dalle condizioni di lavorazione e dalla colorazione.

DESCRIZIONE/DESCRIPTION	provisional	data di emiss./date of issue	16/12/2019
PBS stampaggio ad iniezione, usi generali con carica minerale.			
PBS for injection molding, general purpose, mineral filled.			

PROPRIETÀ	PROPERTIES	METODO STANDARD	UNITA' UNIT	COND.PROVA TEST COND.	
<b>PROPRIETÀ GENERALI</b>	<b>BASIC PROPERTIES</b>				
Contenuto di carica	Ash content	ISO 3451-1	%	Met. A	<b>10</b>
Densità	Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	23° Met. A	<b>1,31</b>
Indice di fluidità	Melt Mass Flow (MFR)	ISO 1133-2	g/10min	190°C; 2,16kg	<b>20</b>
Ritiro allo stampaggio long.	Parallel mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
Ritiro allo stampaggio trasv.	Across mould shrinkage	ISO 294-5	%		-
<b>PROPRIETÀ TERMICHE</b>	<b>THERMAL PROPERTIES</b>				
CLTE longitudinale	CLTE parallel	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
CLTE trasversale	CLTE across	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	23°-55°	-
Temperatura di fusione	Melting point	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	<b>85</b>
Temperatura di transizione vetrosa	Glass Transition Temp.	ISO 11357	°C	DSC (10°C/min)	-
Vicat, Temp. di rammollimento	Vicat, Softening Temp.	ISO 306	°C	1/5kg-50°C/h	<b>-/-</b>
Temp.di distorsione sotto carico	Heat Distorsion Temp.	ISO 75	°C	0.45/1.8 MPa	<b>63/-</b>
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>				
Resistenza a snervamento	Stress at yield	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	-
Modulo elastico a trazione	Tensile Modulus	ISO 527-1-2	MPa	v=1mm/min	-
Carico di rottura a trazione	Tensile stress at break	ISO 527-1-2	MPa	v=50mm/min	<b>20</b>
Allungamento a trazione	Strain at break	ISO 527-1-2	%	v=50mm/min	<b>240</b>
Carico a flessione	Flexural strength	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>15</b>
Modulo elastico a flessione	Flexural modulus	ISO 178	MPa	v=2mm/min	<b>330</b>
Urto Izod senza intaglio	Izod impact strength	ISO 180-1U	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
Urto Izod con intaglio	Izod notched impact	ISO 180-1A	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	<b>15</b>
Urto Charpy con intaglio	Charpy notched impact	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	23°C	-
<b>ALTRE PROPRIETÀ'</b>	<b>OTHER PROPERTIES</b>				
Grado di infiammabilità	Flammability	UL-94	Class.	/mm	<b>HB</b>
Velocità di combustione	Burning rate	ISO 3795	mm/min	FMVSS302	-
G.W.F.I.	G.W.F.I.	IEC 60695	°C/mm		-
Resistività superficiale /Volume	Surface / Volume Resistivity	IEC 60093	ohm-ohm/cm		<b>-/-</b>
Conducibilità termica	Thermal conductivity		W/(mK)	in/trough plane	-
Durezza (Rockwell)	Hardness (Rockwell)	ISO 2039-2	R		-
Trasmittanza	Transmittance	ISO 13468	%	/mm	-
Opacità H	Haze H	ISO 14782	% / GU	/mm	-
Gloss G	Gloss G	Erichsen		60° angle	-
<b>PARAMETRI DI LAVORAZIONE</b>	<b>PROCESSING CONDITIONS</b>				
Temperatura di essiccazione	Drying temperature	-	°C		<b>70</b>
Tempo di essiccazione	Drying time	-	h		<b>3-6</b>
Contenuto di umidità	Moisture content	internal	ppm		<b>200-400</b>
Temperatura massa fusa	Melt temperature	-	°C		<b>130-150</b>
Temperatura stampo	Mould temperature	-	°C		-

**Disclaimer**

ENG - This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights or third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided – especially that contained in our safety data and technical information sheets – and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. This product is not designated for the manufacture of medical devices / in-vitro medical devices or for their intermediate products. This product is also not designated for Food Contact. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold and our advisory service is given in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery. Please read the MATERIAL SAFETY DATA SHEET "MSDS" before using this product.  
**Test values:** The numerical data described are average values obtained by measurement under prescribed conditions; they are not guaranteed values and must be regarded as guide values only and not as binding minimum values. The above data refer to the use of the product in natural colour. Under certain conditions the properties can be affected to a considerable extent by the design of the mould/die, the processing conditions and the colouring.

ITA - Queste informazioni e i nostri suggerimenti tecnici, verbali, scritti o di prova, sono forniti in buona fede ma senza garanzia alcuna, e ciò vale anche laddove siano coinvolti diritti proprietari o terzi. I nostri suggerimenti non vi sollevano dall'obbligo di verificare quanto fornito - specialmente quelle contenute nei nostri dati di sicurezza e schede tecniche - e di testare i nostri prodotti in merito alla loro idoneità per i processi e gli usi previsti. Questo prodotto non è idoneo per la fabbricazione di un dispositivo medico / medico diagnostico in-vitro o di loro prodotti intermedi. Questo prodotto non è idoneo per il contatto alimentare. L'applicazione, uso e lavorazione dei nostri prodotti e i componenti prodotti da voi coi nostri materiali e sulla base delle nostre raccomandazioni tecniche non dipendono dal nostro controllo e quindi sono interamente sotto la vostra responsabilità. I nostri prodotti sono venduti in conformità con la versione attuale delle nostre Condizioni generali di vendita e consegna. Leggere la SCHEDA TECNICA DI SICUREZZA "MSDS" prima di utilizzare questo prodotto.  
**Valori di prova:** I dati numerici descritti sono valori medi ottenuti mediante prove di laboratorio nelle condizioni descritte; non sono valori garantiti, ma vanno considerati solo come valori guida e non come valori minimi vincolanti. Le presenti informazioni sono relative come d'uso a prodotto in versione naturale.  
 In determinate condizioni le proprietà possono essere influenzate in misura considerevole dalla progettazione dello stampo, dal sistema di iniezione, dalle condizioni di lavorazione e dalla colorazione.

## Appendice II – Guala Standard Testing Method

Di seguito si riportano le procedure standard GSTM nella loro completezza, così come riportate nelle schede disponibili all'interno del gruppo.

### Determinazione dei valori di apertura

- Obiettivo: misurare i valori di apertura di una chiusura.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 50 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N° 50 chiusure;
  - Torque master;
  - Macchina tappatrice;
  - Guanto e/o attrezzino per svitare il Tappo.
- Metodologia di prova:
  - 1) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (preliminarmente verificare che l'imboccatura sia asciutta e pulita);
  - 2) Posizionare e serrare una bottiglia su torque-master (1);
  - 3) Azzerare l'indicatore del torque-master (verificare che l'unità di misura impostata sia quella attesa);
  - 4) Aprire la chiusura esercitando su di essa una rotazione regolare e continua (2);
  - 5) Leggere il valore di apertura sulla scala graduata del torque-master e riportarlo su tabella;
  - 6) Ripetere le operazioni 2-3-4-5 per tutti i 50 campioni;
  - 7) Calcolare i valori minimo, massimo e medio.
- Limite di accettabilità: i valori minimo e massimo devono essere compresi nei limiti di accettabilità indicati sulle Specifiche di prodotto della chiusura oggetto di test.
- Note:
  - 1) Tale procedura la si può applicare su:
    - chiusure appena assemblate;
    - chiusure lasciate rilassare per 24 ore a temperatura ambiente dopo assemblaggio;
    - chiusure lasciate rilassare per 1 settimana in forno a 40°C dopo assemblaggio.
  - 2) Per migliorare la presa e/o non sforzare troppo la mano, la prova può essere eseguita indossando un guanto oppure si può utilizzare un attrezzino che fa interferenza sul millerighe del Tappo e facilita l'operazione di svitamento.

### **Determinazione dei valori di apertura a -30°C**

- Obiettivo: misurare i valori di apertura di una chiusura dopo la permanenza al freddo (-30°C).
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 50 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N° 50 chiusure;
  - Torque master;
  - Macchina tappatrice;
  - Congelatore (Freezer);
  - Guanto e/o attrezzino per svitare il Tappo.
- Metodologia di prova:
  - 1) Mettere le 50 chiusure in congelatore a -30°C e mantenerle a tale temperatura per 24 ore;
  - 2) Prendere una chiusura per volta dal congelatore e tappare una bottiglia secondo le specifiche della chiusura (preliminarmente verificare che l'imboccatura sia asciutta e pulita);
  - 3) Posizionare e serrare una bottiglia su torque-master;
  - 4) Azzerare l'indicatore del torque-master (verificare che l'unità di misura impostata sia quella attesa);
  - 5) Aprire la chiusura esercitando su di essa una rotazione regolare e continua (1);
  - 6) Leggere il valore di apertura sulla scala graduata del torque-master e riportarlo su tabella;
  - 7) Ripetere le operazioni 2-3-4-5-6 per tutti i 50 campioni;
  - 8) calcolare i valori minimo, massimo e medio.
- Limite di accettabilità: i valori minimo e massimo devono essere compresi nei limiti di accettabilità indicati sulle Specifiche di prodotto della chiusura oggetto di test.
- Note:
  - 1) Per migliorare la presa e/o non sforzare troppo la mano, la prova può essere eseguita indossando un guanto oppure si può utilizzare un attrezzino che fa interferenza sul millerighe del Tappo e facilita l'operazione di svitamento.
  - 2) La prova si può eseguire anche a temperature diverse da -30°C (temperatura di test definita sulle Specifiche di prodotto).

## Funzionalità Tamper Evident per una chiusura generica

- Obiettivo: definire il comportamento del Tamper Evident di una chiusura durante e dopo la prima apertura.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 50 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N° 50 chiusure;
  - Torque master;
  - Macchina tappatrice.
- Metodologia di prova:
  - 1) Controllare che il Tamper Evident (T.E.) non sia già rotto o danneggiato prima del suo utilizzo;
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (preliminarmente verificare che l'imboccatura sia asciutta e pulita);
  - 3) Controllare che il T.E. sia rimasto integro anche dopo la tappatura;  
**Caso 1:** chiusure con sigillo T.E. a strappo da rompere prima dello svitamento del tappo:
  - 4) Nel caso in cui la chiusura abbia un sistema T.E. che non sia un anellino che si rompe durante lo svitamento del tappo ma che sia un sigillo a strappo, valutare il comportamento del T.E. aprendo e/o rompendo manualmente tale sigillo (eseguire manualmente l'operazione di apertura ritenuta più logica per rimuovere il T.E. (1));
  - 5) Descrivere su tabella il comportamento durante e dopo l'apertura del T.E. (2);
  - 6) Posizionare e serrare la bottiglia su torque-master;
  - 7) Azzerare l'indicatore del torque-master (verificare che l'unità di misura impostata sia quella attesa);
  - 8) Aprire la chiusura esercitando su di essa una rotazione regolare e continua;
  - 9) Leggere il valore di apertura sulla scala graduata del torque-master e riportarlo su tabella;
  - 10) Ripetere le operazioni 4-5-6-7-8-9 per tutti i campioni;
  - 11) Calcolare i valori minimo, massimo e medio.  
**Caso 2:** chiusure con anello T.E. che si rompe o si rende evidente durante lo svitamento del tappo:
    - 4) Posizionare e serrare la bottiglia su torque-master;
    - 5) Aprire la chiusura impugnandola sul tappo, avendo cura di non toccare e/o interferire con l'anellino T.E.;
    - 6) Verificare il comportamento del T.E. durante la prima apertura (estrarre completamente il tappo dal resto della chiusura su bottiglia);
    - 7) Riavvitare il tappo sul resto della chiusura e verificare il comportamento del T.E. (valutare la differenza tra una chiusura ancora da aprire ed una già aperta);
    - 8) Riportare i risultati su tabella descrivendo come si è rotto l'anellino T.E. (3) e riportando il valore di apertura;
    - 9) Ripetere le operazioni 4-5-6-7-8 per tutti i campioni;
    - 10) Calcolare i valori minimo, massimo e medio.
- Limite di accettabilità: il comportamento del Tamper Evident deve soddisfare i requisiti indicati sulle specifiche di prodotto della chiusura.
- Note:
  - 1) Per esempio, impugnare l'eventuale linguetta di strappo e tirarla nel verso più adatto per rompere il sigillo.
  - 2) Per esempio, descrivere se il sigillo si è staccato completamente dal tappo e/o se si è rotto in diverse parti e/o se alcune parti sono rimaste attaccate al tappo.
  - 3) Per esempio, descrivere se l'anellino si è rotto in più settori o se è rimasto tutto o in parte attaccato al tappo.

### Tenuta a temperatura ambiente

- Obiettivo: valutare l'entità delle perdite della chiusura durante la permanenza a temperatura ambiente (circa  $18\pm 25^{\circ}\text{C}$ ).
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 12 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N°12 chiusure;
  - Carta assorbente;
  - 12 litri di soluzione idroalcolica colorata al 40% o liquido originale;
  - Macchina tappatrice;
  - Bilancia (precisione di 0,01g).
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire le bottiglie alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia) e alla temperatura di  $16\pm 1^{\circ}\text{C}$  (bottiglie immerse in acqua corrente);
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura e numerare i campioni;
  - 3) Pesare con precisione di 0,01g ciascuna bottiglia (asciutta) e riportare il peso in tabella;
  - 4) Mantenere i campioni, coricati, per 24 ore ad una temperatura ambiente di circa  $18\pm 25^{\circ}\text{C}$  (sotto al collarino delle bottiglie si deve collocare uno strato di carta assorbente (per evidenziare eventuali perdite);
  - 5) Al termine delle 24 ore, si deve verificare visivamente la presenza di eventuali perdite;
  - 6) Aprire ogni chiusura, rimuoverla dalla bottiglia e smontarla per verificare eventuali microperdite fra i componenti;
  - 7) Riportare su apposita tabella gli esiti riscontrati dopo la pesatura finale e il controllo visivo.
- Limite di accettabilità: nessuna perdita visiva esterna, nessuna microperdita visiva fra i componenti della chiusura, perdita di peso < 2 grammi.

### Tenuta a ciclo termico standard

- Obiettivo: valutare l'entità delle perdite della chiusura durante un ciclo termico.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 12 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N°12 chiusure;
  - Forno o Camera climatica a 40°C;
  - Frigorifero a +6/7°C;
  - Carta assorbente;
  - 12 litri di soluzione idroalcolica colorata al 40% o liquido originale;
  - Macchina tappatrice;
  - Bilancia (precisione di 0,01g).
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire le bottiglie alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia) e alla temperatura di  $16\pm 1^{\circ}\text{C}$  (bottiglie immerse in acqua corrente);
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura e numerare i campioni;
  - 3) Pesare con precisione di 0,01g ciascuna bottiglia (asciutta) e riportare il peso in tabella;
  - 4) Sottoporre i campioni, coricati, al seguente ciclo termico:
    - a. 24 ore in frigo a +6/7°C;
    - b. Successive 24 ore in forno (o camera climatica) a +40°C;Sotto al collarino delle bottiglie si deve collocare uno strato di carta assorbente (per evidenziare eventuali perdite);
  - 5) Ogni 24 ore, al termine di ogni ciclo, si deve verificare visivamente la presenza di perdite;
  - 6) Al termine del secondo ciclo lasciare raffreddare le bottiglie a temperatura ambiente e pesarle;
  - 7) Aprire ogni chiusura, rimuoverla dalla bottiglia e smontarla per verificare eventuali microperdite fra i componenti;
  - 8) Riportare su apposita tabella gli esiti riscontrati dopo la pesatura finale e il controllo visivo.
- Limite di accettabilità: nessuna perdita visiva esterna, nessuna microperdita visiva fra i componenti della chiusura, perdita di peso < 2 grammi.

### Tenuta durante la permanenza sottovuoto

- Obiettivo: valutare l'entità delle perdite della chiusura durante la permanenza sottovuoto.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 5 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N° 5 chiusure;
  - Pompa a vuoto e vaschetta di tenuta al vuoto (attrezzatura fornita da AT2E (France));
  - Carta assorbente;
  - 5 litri di soluzione idroalcolica colorata al 40% o liquido originale;
  - Macchina tappatrice.
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire le bottiglie alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia) e alla temperatura ambiente (circa  $22\pm 5^{\circ}\text{C}$ );
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura;
  - 3) Collocare le bottiglie coricate nell'apparecchiatura in grado di creare il vuoto all'esterno della confezione;
  - 4) Mettere uno strato di carta assorbente sotto al collarino delle bottiglie (per evidenziare eventuali perdite);
  - 5) Definire il tempo di durata della prova: impostare un tempo di 1/2 ora;
  - 6) Chiudere lo sportello della vasca, creare le condizioni di vuoto: impostare un valore compreso fra -0,45 e -0,6 Bar e avviare la prova (premere il pulsante di avvio dopo di che la macchina esegue in automatico la prova stabilizzando le condizioni di vuoto per il tempo impostato; a termine prova la pressione torna normale e lo sportello si apre);
  - 7) Al termine della prova, esaminare se vi sono state fuoriuscite di prodotto attraverso la chiusura;
  - 8) Aprire ogni chiusura, rimuoverla dalla bottiglia e smontarla per verificare eventuali microperdite fra i componenti;
  - 9) Riportare su apposita tabella gli esiti riscontrati dopo il controllo visivo.
- Limite di accettabilità: nessuna perdita visiva esterna, nessuna microperdita visiva fra i componenti della chiusura.

### Tenuta per 24 ore a -20°C

- Obiettivo: valutare l'entità delle perdite della chiusura durante la permanenza di un giorno a -20°C.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 12 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N°12 chiusure;
  - Freezer o Camera climatica a -20°C;
  - Carta assorbente;
  - 12 litri di soluzione idroalcolica colorata al 40% o liquido originale;
  - Macchina tappatrice;
  - Bilancia (precisione di 0,01g).
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire le bottiglie alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia) e alla temperatura di  $16\pm 1^{\circ}\text{C}$  (bottiglie immerse in acqua corrente);
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura e numerare i campioni;
  - 3) Pesare con precisione di 0,01g ciascuna bottiglia (asciutta) e riportare il peso in tabella;
  - 4) Mantenere i campioni, coricati, per 24 ore alla temperatura di -20°C (sotto al collarino delle bottiglie si deve collocare uno strato di carta assorbente (per evidenziare eventuali perdite);
  - 5) Al termine delle 24 ore, si deve verificare visivamente la presenza di eventuali perdite;
  - 6) Lasciare acclimatare le bottiglie a temperatura ambiente e pesarle;
  - 7) Aprire ogni chiusura, rimuoverla dalla bottiglia e smontarla per verificare eventuali microperdite fra i componenti;
  - 8) Riportare su apposita tabella gli esiti riscontrati dopo la pesatura finale e il controllo visivo.
- Limite di accettabilità: nessuna perdita visiva esterna, nessuna microperdita visiva fra i componenti della chiusura, perdita di peso < 2 grammi

### Tenuta per 24 ore a 40°C

- Obiettivo: valutare l'entità delle perdite della chiusura durante la permanenza di un giorno a 40°C.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 12 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N°12 chiusure;
  - Forno o Camera climatica a 40°C;
  - Carta assorbente;
  - 12 litri di soluzione idroalcolica colorata al 40% o liquido originale;
  - Macchina tappatrice;
  - Bilancia (precisione di 0,01g).
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire le bottiglie alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia) e alla temperatura di  $16\pm 1^{\circ}\text{C}$  (bottiglie immerse in acqua corrente);
  - 2) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura e numerare i campioni;
  - 3) Pesare con precisione di 0,01g ciascuna bottiglia (asciutta) e riportare il peso in tabella;
  - 4) Mantenere i campioni, coricati, per 24 ore alla temperatura di 40°C (sotto al collarino delle bottiglie si deve collocare uno strato di carta assorbente (per evidenziare eventuali perdite);
  - 5) Al termine delle 24 ore, si deve verificare visivamente la presenza di eventuali perdite;
  - 6) Lasciare raffreddare le bottiglie a temperatura ambiente e pesarle;
  - 7) Aprire ogni chiusura, rimuoverla dalla bottiglia e smontarla per verificare eventuali microperdite fra i componenti;
  - 8) Riportare su apposita tabella gli esiti riscontrati dopo la pesatura finale e il controllo visivo.
- Limite di accettabilità: nessuna perdita visiva esterna, nessuna microperdita visiva fra i componenti della chiusura, perdita di peso < 2 grammi.

## Scalzamento chiusura a Temperatura ambiente

- Obiettivo: definire il grado di inscalzabilità della chiusura di garanzia dalla bottiglia.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 10 chiusure;
  - N° 10 bottiglie con imboccatura in tolleranza nominale ( o in tolleranza minima) e N° 10 bottiglie con imboccatura in tolleranza massima;
  - Dinamometro con relativi attrezzi di presa;
  - Macchina tappatrice.
- Metodologia di prova:
  - 1) Tappare le 10 bottiglie con le 10 chiusure con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (1);
  - 2) Impostare i parametri del dinamometro per eseguire la prova di trazione (velocità di trazione consigliata: 20mm/min) e/o, a seconda del tipo di dinamometro, richiamare il programma di prova eventualmente già registrato in archivio;
  - 3) Posizionare una bottiglia tappata sul basamento del dinamometro e su di questo fissarla mediante apposito attrezzino;
  - 4) Agganciare la parte inferiore della chiusura alla testa del dinamometro mediante attrezzino idoneo;
  - 5) Sottoporre a trazione la chiusura fino ad ottenere lo scalzamento della chiusura dalla bottiglia;
  - 6) Leggere il valore rilevato necessario per scalzare la chiusura della bottiglia e riportare il risultato su Tabella;
  - 7) Togliere la bottiglia dal basamento e riportare la testa del dinamometro nelle condizioni di inizio prova;
  - 8) Ripetere le operazioni 3-4-5-6-7 per tutti i campioni da testare;
  - 9) Calcolare i valori minimo, massimo e medio, il valore di scalzamento è determinato dal valore minimo rilevato sui campioni testati.
- Limite di accettabilità: il risultato della prova deve soddisfare i limiti di accettabilità indicati sulle Specifiche di prodotto della chiusura.
- Note: in fase di omologazione di un nuovo prodotto, oppure di modifiche di prodotto, oppure di qualifica di nuovi materiali plastici, occorre eseguire la prova di scalzamento anche tappando le chiusure su bottiglie aventi boga sia in tolleranza minima sia in tolleranza massima e confrontare i risultati.

## Scalzamento di componenti della chiusura

- Obiettivo: definire la resistenza allo smontaggio / scalzamento dei componenti con cui è assemblata la chiusura (in genere fra Sovratappo e Tappo ma possono essere anche altri componenti).
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 10 chiusure finite (o semiassemblati nel caso si vogliano scalzare componenti interni, es.: Corpo da Aggancio);
  - N° 10 bottiglie con imboccatura in tolleranza nominale (o mandrini per vincolare eventuali semiassemblati);
  - Dinamometro con relativi attrezzi di presa;
  - Attrezzini di trazione (mandrini o ganasce specifici per aggrappare il componente che si intende scalzare);
  - Macchina tappatrice.
- Metodologia di prova:
  - 1) Tappare le 10 bottiglie con le 10 chiusure con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (in alternativa, a seconda del tipo di scalzamento che si intende testare, utilizzare mandrini opportuni su cui vincolare la chiusura o parte di essa (semiassemblato) e permetterne il fissaggio sulla base del dinamometro;
  - 2) Impostare i parametri del dinamometro per eseguire la prova di trazione (oppure, a seconda del tipo di dinamometro, richiamare il programma di prova eventualmente già registrato in archivio);
  - 3) Rimuovere eventuali componenti o sistemi di tamper evidenti in modo da facilitare la presa del componente da sottoporre a trazione;
  - 4) Posizionare una bottiglia tappata sul basamento del dinamometro e su di questo fissarla mediante apposito attrezzino (in alternativa, a seconda del tipo di scalzamento che si intende testare, fissare sulla base del dinamometro un mandrino opportuno su cui precedentemente è stata fissata la chiusura o parte di essa (semiassemblato) da sottoporre a trazione;
  - 5) Vincolare l'attrezzino di trazione (munito di opportune guance per potersi aggrappare al di sotto del componente o di parti filettate o sagomate in modo da agganciarsi al componente da tirare) alla parte mobile del dinamometro e disporre l'attrezzatura pronta per la trazione andando ad agganciare il componente da scalzare;
  - 6) Sottoporre a trazione il componente fino ad ottenerne lo scalzamento dal resto della chiusura; impostare la velocità di trazione pari a 100 mm/min;
  - 7) Leggere il valore rilevato necessario per scalzare il componente dalla chiusura e riportare il risultato su Tabella;
  - 8) Togliere la bottiglia dal basamento e riportare la testa del dinamometro nelle condizioni di inizio prova;
  - 9) Ripetere le operazioni 3-4-5-6-7 per tutti i campioni da testare;
  - 10) Calcolare i valori minimo, massimo e medio, il valore di scalzamento è determinato dal valore minimo rilevato sui campioni testati.
- Limite di accettabilità: il risultato della prova deve soddisfare i limiti di accettabilità indicati sulle Specifiche di prodotto della chiusura.

## Determinazione dei valori di scavalamento filetto

- Obiettivo: misurare i valori di scavalamento filetto durante la richiusura del tappo.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 50 bottiglie con imboccatura nelle tolleranze previste (vedere disegno dell'imboccatura in Ufficio Tecnico);
  - N° 50 chiusure;
  - Torque master;
  - Macchina tappatrice;
  - Guanto e/o attrezzino per svitare il Tappo.
- Metodologia di prova:
  - 1) Tappare le bottiglie con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (preliminarmente verificare che l'imboccatura sia asciutta e pulita);
  - 2) Posizionare e serrare una bottiglia su torque-master (1);
  - 3) Aprire la chiusura (svitare il tappo dal corpo) (2);
  - 4) Azzerare l'indicatore del torque-master (verificare che l'unità di misura impostata sia quella attesa);
  - 5) Riavvitare il tappo sul corpo fino a raggiungere lo scavalamento del filetto (2);
  - 6) Leggere il valore di rotazione sulla scala graduata del torque-master e riportarlo su tabella;
  - 7) Ripetere le operazioni 2-3-4-5-6 per tutti i 50 campioni;
  - 8) Calcolare i valori minimo, massimo e medio.
- Limite di accettabilità: il valore minimo deve essere maggiore del limite di accettabilità indicato sulle Specifiche di prodotto della chiusura oggetto di test.
- Note:
  - 1) Tale procedura la si può applicare su:
    - chiusure appena assemblate;
    - chiusure lasciate rilassare per 24 ore a temperatura ambiente dopo assemblaggio.
  - 2) Per migliorare la presa e/o non sforzare troppo la mano, la prova può essere eseguita indossando un guanto oppure si può utilizzare un attrezzino che fa interferenza sul millerighe del Tappo e facilita l'operazione di svitamento.

## **Resistenza alla rotazione fra componenti della chiusura**

- Obiettivo: determinare il limite di resistenza allo scavalciamento fra i componenti interni della chiusura (in genere fra Sovratappo e Tappo ma possono essere anche altri componenti)
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N° 1 bottiglia in tolleranza nominale o massima sulle tacche antirotazione;
  - N°10 chiusure (in caso di problemi estendere la prova su 50 CH) o semiassemblati;
  - Torque master;
  - Macchina tappatrice;
  - Mandrini e/o attrezzini adatti a seconda del tipo di chiusura e/o del tipo di test da eseguire;
  - Guanto e/o attrezzino per svitare il Tappo e/o i componenti.
- Metodologia di prova:
  - 1) Tappare la bottiglia con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura (preliminarmente verificare che l'imboccatura sia asciutta e pulita); posizionare e serrare la bottiglia su torque-master;
  - 2) In alternativa, a seconda del tipo di rotazione che si intende testare, utilizzare opportuno mandrino fissato sul torque-master su cui posizionare il semifinito della chiusura con i componenti di cui si vuole misurare la rotazione relativa;
  - 3) Azzerare l'indicatore del torque-master (verificare che l'unità di misura impostata sia quella attesa);
  - 4) Ruotare il componente interessato fino ad ottenere la rotazione relativa con il componente su cui è vincolato;
  - 5) Leggere il valore di rotazione sulla scala graduata del torque-master e riportarlo su tabella;
  - 6) Ripetere le operazioni 1-2-3-4-5 per tutti i 10 campioni;
  - 7) Calcolare i valori minimo, massimo e medio.
- Limite di accettabilità: il valore minimo deve essere maggiore del limite di accettabilità indicato sulle Specifiche di prodotto della chiusura oggetto di test.

## Resistenza al carico statico verticale

- Obiettivo: determinare il carico statico verticale massimo di resistenza della chiusura.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N°1 bottiglia con imboccatura nelle tolleranze previste;
  - N° 1 chiusura;
  - N° 1 litro di soluzione idroalcolica a 40°;
  - Macchina tappatrice;
  - Torque master;
  - Forno a 40°C;
  - Attrezzino idoneo per tale prova (supporto con staffe su cui mettere i pesi e farli gravare sulla bottiglia tappata);
  - Pesi necessari per sottoporre la chiusura al carico statico.
- Metodologia di prova:
  - 1) Riempire la bottiglia alla capienza di progetto (spazio di testa residuo pari al 3% del volume della bottiglia);
  - 2) Tappare la bottiglia con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura;
  - 3) Posizionare la bottiglia su apposito attrezzino (si veda foto);
  - 4) Caricare l'attrezzino fino ad ottenere il raggiungimento del carico a cui sottoporre la chiusura (il carico è stabilito da R&D o da richieste del Cliente);
  - 5) Mantenere il carico definito che grava sulla chiusura, in condizione statica, per 15 giorni a temperatura ambiente;
  - 6) Al termine del periodo, togliere i pesi e togliere la bottiglia dall'attrezzatura;
  - 7) Esaminare visivamente la chiusura (valutare eventuali schiacciamenti o deformazioni o rotture);
  - 8) Riportare in tabella i dati riscontrati dal controllo visivo;
  - 9) Successivamente, sottoporre la chiusura a prova di tenuta (24 ore in forno a 40°C);
  - 10) Al termine della prova, controllare eventuali perdite e riportare i risultati su tabella;
  - 11) Far raffreddare la bottiglia a temperatura a ambiente per eseguire eventuali prove (apertura, scavalco filetto);
  - 12) Riportare su Tabella i risultati delle eventuali ulteriori prove eseguite;
  - 13) Infine, smontare la chiusura dalla bottiglia e verificare se ci sono state cricature o venature dei componenti interni;
  - 14) Riportare su Tabella anche l'esito dell'ultimo controllo visivo sui componenti interni;
  - 15) Registrare su Tabella il carico statico sopportato dalla chiusura.
- Limite di accettabilità: al termine delle prove la chiusura dovrà aver mantenuto integra la propria funzionalità e non presentare deformazioni o rotture o danni tali da comprometterne l'aspetto estetico e funzionale.

## Scampanamento manuale

- Obiettivo: definire il grado di inscalzabilità di un sovratappo e/o cappuccio dal resto della chiusura e/o il disassemblaggio dei componenti della chiusura e/o della chiusura completa dalla bottiglia simulando movimentazioni manuali.
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N°10 chiusure;
  - N°1 bottiglia (in бага nominale) avente un peso di 1,8 Kg (es.: bottiglia riempita con sfere di vetro);
  - Macchina tappatrice.
- Metodologia di prova:
  - 1) Verificare che i componenti di tutte le chiusure da testare siano correttamente assemblati fra loro;
  - 2) Prendere una chiusura e tappare la bottiglia con carico di tappatura secondo le specifiche della chiusura;
  - 3) Verificare che la chiusura si sia correttamente calzata su bottiglia (no deformazioni o rigonfiamenti o sbiancamenti);
  - 4) Afferrare la chiusura per il sovratappo e/o cappuccio e ripetere una serie di spostamenti orizzontali, ovvero: impugnando il sovratappo, sollevare la bottiglia di qualche centimetro e spostarla di circa 1m dalla posizione iniziale, ripetere 10 volte il movimento dopo di che verificare visivamente se ci sono stati cedimenti o smontaggi di componenti fra loro e/o dalla bottiglia;
  - 5) Riportare il risultato su Tabella;
  - 6) Afferrare la chiusura per il sovratappo e/o cappuccio e ripetere una serie di sollecitazioni verticali, ovvero: impugnando il sovratappo, sollevare la bottiglia e scuoterla energicamente su e giù per 10 volte in senso verticale (movimenti paralleli all'asse della bottiglia lungo la verticale) dopo di che verificare visivamente se ci sono stati cedimenti o smontaggi di componenti fra loro e/o dalla bottiglia;
  - 7) Riportare il risultato su Tabella;
  - 8) Afferrare la chiusura per il sovratappo e/o cappuccio e ripetere una serie di scampanamenti, ovvero: impugnando il sovratappo, sollevare la bottiglia e muoverla facendola oscillare ad arco, ripetere tale oscillazione per 10 volte dopo di che verificare visivamente se ci sono stati cedimenti o smontaggi di componenti fra loro e/o dalla bottiglia;
  - 9) Riportare il risultato su Tabella;
  - 10) Rimuovere la chiusura appena testata dalla bottiglia;
  - 11) Ripetere le operazioni 2-3-4-5-6-7 per tutti i campioni da testare.
- Limite di accettabilità: il risultato della prova deve soddisfare i limiti di accettabilità indicati sulle Specifiche di prodotto della chiusura. In generale, il risultato minimo atteso è il seguente: nessun smontaggio o scalzamento di componenti o della chiusura completa nelle prove 4 e 6, resistenza ad almeno 5 scampanamenti nella prova 6.

### **Compatibilità tecnica su semilavorati**

- Obiettivo: verificare la compatibilità tecnica fra la chiusura ed il prodotto da imbottigliare dal punto di vista delle aggressioni (corrosioni).
- Materiali e attrezzature necessari:
  - N°10 pezzi per ogni componente da testare;
  - Prodotto originale;
  - Contenitori in vetro;
  - Forno a 40°C;
  - Calibro e bilancia;
  - Schede di controllo (con le dimensioni da tenere sotto controllo per ogni componente).
- Metodologia di prova:
  - 1) Prelevare i componenti da testare;
  - 2) Lasciarli rilassare a temperatura ambiente per 24 ore (tempo di stabulazione del materiale);
  - 3) Rilevare dimensioni e pesi di ogni componente da testare;
  - 4) Immergere i componenti nel prodotto originale (utilizzare un contenitore in vetro per ogni componente);
  - 5) Posizionare i campioni così preparati in forno a 40°C e mantenerli per 10 giorni;
  - 6) Trascorso tale periodo togliere i campioni dal forno e lasciarli asciugare e raggiungere la Temperatura ambiente;
  - 7) Rilevare dimensioni e pesi di tutti i componenti testati (confrontando i risultati con quelli di inizio prova);
  - 8) Controllare visivamente tutti i componenti allo scopo di evidenziare eventuali deformazioni o erosioni ovvero se sono cambiate le caratteristiche meccaniche (essenzialmente dal punto di vista della fragilità e stress-cracking);
  - 9) Riportare il risultato su Tabella.
- Limite di accettabilità: i vari componenti non devono presentare tracce di erosione e non si devono essere deformati o incurvati. Le quote misurate sia a inizio che fine prova devono rientrare nelle tolleranze previste sulle Schede Controllo.

### **Rilievi dimensionali e/o di peso**

- Obiettivo: valutare la conformità dimensionale dei Semilavorati (SL) o dei Semifiniti (SF) o dei prodotti finiti (PF).
- Materiali e attrezzature necessari:
  - Una stampata completa del SL o una mandrinata completa di SF o di PF (oppure 10 pezzi nel caso di stampi mono-cavità o di macchine mono-mandrino);
  - Calibro e/o macchina di misura e/o altri strumenti di misura;
  - Bilancia con precisione di lettura pari a 0,01g;
  - Schede di controllo (con le dimensioni da tenere sotto controllo per ogni componente)
- Metodologia di prova:
  - 1) prelevare i componenti da testare;
  - 2) lasciarli rilassare a temperatura ambiente per 24 ore (tempo di stabilizzazione del materiale dopo lo stampaggio o di rilassamento dopo assemblaggio);
  - 3) Prova A: verifiche dimensionali: eseguire la misurazione di ogni quota significativa che viene indicata sulla Scheda di Controllo (utilizzare lo strumento di misura più opportuno: calibro, comparatore, telecamera di misura, ...);
  - 4) registrare le dimensioni rilevate su Tabella.
  - 5) Prova B: controlli di peso: eseguire le pesate di tutti i componenti della stampata o della mandrinata della macchina (nel caso di stampo mono-cavità o di macchina mono mandrino pesare 10 pezzi);
  - 6) calcolare il valore medio;
  - 7) registrare il peso rilevato su Tabella o su altra documentazione di riferimento.
- Limite di accettabilità: i valori misurati devono rientrare nelle tolleranze previste sulle Schede di Controllo.

## Appendice III – Tabelle dei risultati completi

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti nelle varie prove nella loro completezza, così come riportati nelle tabelle GSTM del gruppo.

In particolare, nelle tabelle III.1 e III.2 sono riportati i risultati dei test di laboratorio eseguiti sui Ring Spring,

Nelle tabelle dalla III.3 alla III.15 sono riportati i risultati dei test di laboratorio eseguiti sulla chiusura Mars, sia Biobased che compostabile.

Nelle tabelle dalla III.16 alla III.22 sono riportati i risultati dei test di laboratorio eseguiti sulla chiusura Bikini Biobased.

**Tabella III.15 - Risultato misure dimensionali e pesi degli anellini spring in Bio-PE e PBS**

		<b>AnellinoSpring PILOTA - prove Materiali BIO</b>					
Modulo n° IDL n°	Rif	Quota	Ø esterno massimo	Ø sottosquadro	Ø esterno base	Altezza esterna	Altezza totale
Metodo di misurazione		Valore	(32,10±0,15)	(25,50±0,15)	(29,86±0,10)	(2,20±0,10)	(5,70±0,15)
Diametri	con progr TLC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti	<b>Lim. Inf.</b>	<b>31,95</b>	<b>25,35</b>	<b>29,76</b>	<b>2,10</b>	<b>5,55</b>
Altezza	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti	<b>Lim. Sup.</b>	<b>32,25</b>	<b>25,65</b>	<b>29,96</b>	<b>2,30</b>	<b>5,85</b>
Data produzione:	25/10/19	Cmp n° 1	32,66	26,01	30,28	2,37	5,90
Data misurazione	05/11/2019	Cmp n° 2	32,65	26,01	30,22	2,38	5,97
Pressa/macchina:	R&D	Cmp n° 3	32,65	26,02	30,27	2,34	5,91
Materiali	ORIOS B7 M <b>52717</b>						
Disegno n°							
Controllo VISIVO:							
Bava sulla base; deformati							
		Min	32,65	26,01	30,22	2,34	5,90
Peso compreso tra	0,732 g e 0,734 g	Medio	32,65	26,01	30,26	2,36	5,93
NOTE		Max	32,66	26,02	30,28	2,38	5,97
Materiale BIO - Campione A		<b>Esito risp toll</b>	<b>+0,40</b>	<b>+0,36</b>	<b>+0,30</b>	<b>+0,06</b>	<b>+0,08</b>
		Valore vecchie misurazioni piloti	31,85 -31,96	25,35 - 25,48			5,75 - 5,84
Data produzione:	25/10/19	Cmp n° 1	32,63	26,15	30,29	2,32	5,94
Data misurazione	05/11/2019	Cmp n° 2	32,64	26,13	30,3	2,33	5,95
Pressa/macchina:	R&D	Cmp n° 3	32,62	26,11	30,28	2,34	5,92
Materiali	ORIOS B7 M <b>61929</b>						
Disegno n°							
Controllo VISIVO:							
SL con bava su base							
		Min	32,62	26,11	30,28	2,32	5,92
Peso compreso tra	0,736 g e 0,737 g	Medio	32,63	26,13	30,29	2,33	5,94
NOTE		Max	32,64	26,15	30,30	2,34	5,95
Materiale BIO - Campione B		<b>Esito risp toll</b>	<b>+0,38</b>	<b>+0,48</b>	<b>+0,30</b>	<b>+0,03</b>	<b>+0,09</b>
		Valore vecchie misurazioni piloti	31,85 -31,96	25,35 - 25,48			5,75 - 5,84
Data produzione:	25/10/19	Cmp n° 1	32,22	25,78	30,02	2,19	5,72
Data misurazione	05/11/2019	Cmp n° 2	32,21	25,78	30,02	2,18	5,71
Pressa/macchina:	R&D	Cmp n° 3	32,22	25,77	30,05	2,18	5,71
Materiali	<b>LDPE SPB 681</b>						
Disegno n°							
Controllo VISIVO:							
accettabile							
		Min	32,21	25,77	30,02	2,18	5,71
Peso compreso tra	0,530 g e 0,532 g	Medio	32,22	25,78	30,03	2,18	5,71
NOTE		Max	32,22	25,78	30,05	2,19	5,72
Materiale BIO FRILVAM - Campione C		<b>Esito risp toll</b>	<b>OK</b>	<b>+0,13</b>	<b>+0,07</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
		Valore vecchie misurazioni piloti	31,85 -31,96	25,35 - 25,48			5,75 - 5,84

**Tabella III.16 - Report di laboratorio delle prove effettuate sugli anellini spring**

		PIANO PROVE VALIDAZIONE (Guala Standard Tests Method)		Anellino Spring - PILOTA materiali BIO	
Compiler	Merlano E	Date emission:	07/11/2019		
Aggiornato il	07/11/2019	Riferimento	ORIOS B7 M52717	ORIOS B7 M61929	LDPE SPB681
Caratteristica	Condizioni di prova		Esito Note	Esito Note	Esito Note
Controllo Visivo (generale e profili)			Bava sulla base; SL deformati	SL deformati	Accettabili
Dimensionale	Ø esterno massimo: (32,10±0,15)	CH 4299 Rev 1	NON accettabile: valori tra 32,65 e 32,66 mm	NON accettabile: valori tra 32,62 e 32,64 mm	Accettabile: valori tra 32,21 e 32,22 mm
	Ø sottosquadro: (25,50±0,15)		NON accettabile: valori tra 26,01 e 26,02 mm	NON accettabile: valori tra 26,11 e 26,15 mm	NON accettabile: valori tra 25,77 e 25,78 mm
	Altezza totale: (5,70±0,15)		NON accettabile: valori tra 5,90 e 5,97 mm	NON accettabile: valori tra 5,92 e 5,95 mm	Accettabile: valori tra 5,71 e 5,72 mm
Peso	Compresivo di materozza		Compreso tra 0,732 e 0,734 g	Compreso tra 0,736 e 0,737 g	Compreso tra 0,530 e 0,532 g
Calibro dopo assemblaggio	Ø in baga massima 28,30	Nessuna rottura	N° 20 provate OK ; nessun indebolimento rotto	N° 20 provate OK ; nessun indebolimento rotto	N° 20 provate OK ; nessun indebolimento rotto
Applicazione	Testina rullatrice lab qualità Ø baga bottiglia 27,90	Da specifica	No rotture su btg	No rotture su btg	No rotture su btg
Funzionamento TE	Dopo applicazione a temp ambiente	Rottura ponticelli dei settori dell'anellino (almeno 2 su 3)	N° 10 provate: NON Accettabile N° 10 cmp con 2 indebolimenti non aperti	N° 10 provate: NON Accettabile N° 10 cmp con 3 indebolimenti non aperti	N° 20 provate: accettabile N° 1/20 cmp con 1 indebolimento non aperti

**Tabella III.17 - Misure sovrappeso Mars in bio-PE, da notare che in questo caso le tolleranze devono ancora essere definite**

		Cappuccio Mars Pilota - misure materiale BIO							
Modulo n°		Quota	Ø esterno base	Ø tacche antirotazione	Ø base righette	Ø cresta 1° righette	Ø cresta 3° righette	Ø esterno cupola	Altezza totale
Rif IDL n°		Valore	38,00	35,30	35,01	34,60	34,60	37,72	17,40
Toll generica (PILOTA)	TBD	Lim. Inf.							
		Lim. Sup.							
Data produzione:	06/12/19	Controllo VISIVO	filo su righetta						
Tipo Prova	Materiale BIO	Campione n° 1	37,55	34,85	34,71	34,35	34,22	37,21	17,02
Pressa/macchina:	R&D	Campione n° 2	37,53	34,81	34,71	34,33	34,23	37,18	17,03
Materiali	SHC7260 (HDPE)	Campione n° 3	37,57	34,87	34,72	34,35	34,23	37,21	17,04
Disegno n°									
Operatore	Merlano E								
Data misurazione	12/12/2019								
Metodo di misurazione									
Diametri	con progr TLC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti								
Altezza	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti								
		Min	37,53	34,81	34,71	34,33	34,22	37,18	17,02
		Medio	37,55	34,84	34,71	34,34	34,23	37,20	17,03
		Max	37,57	34,87	34,72	34,35	34,23	37,21	17,04
		Esito rispetto nominale	-0,45	-0,46	-0,3	-0,26	-0,37	-0,52	-0,37
		Valore vecchie misurazioni piloti							

**Tabella III.18 - Misure tappo Mars in bio-PE, da notare che anche in questo caso non tutte le tolleranze sono definite**

		<b>Tappo Mars Pilota - misure materiale BIO</b>										
Modulo n°	Quota	Ø base rightlette	Ø 1° rightetta	Ø 3° rightetta	Ø esterno base	Ø base filetti	Ø cresta filetti	Ø sottosquadro wad	Altezza totale	Altezza conetto		
RIF/IDL n°	Valore	34,60	34,94	34,94	36,00	(32,05±0,20-0,05)	(30,00±0,15)	(9,45±0,10)	14,80	3,30		
Toll. generica (PILOTA)	Lim. Inf.					32,00	29,85	9,35				
	Lim. Sup.					32,25	30,15	9,55				
Data produzione:	Controllo VISIVO	cupola ritirata										
06/12/19												
Tipo Prova	Campione n° 1	34,21	34,57	34,78	35,91	32,02	30,05	9,48	14,62	3,00		
Mat BIO												
Pressa/macchinari:	Campione n° 2	34,20	34,59	34,79	35,93	32,02	30,03	9,49	14,63	3,01		
R&D												
Materiali	Campione n° 3	34,19	34,56	34,79	35,92	32,05	30,06	9,51	14,65	3,00		
SHC7260 (HDPE)												
Disegno n°												
Operatore												
Merlano E												
Data misurazione												
12/12/2019												
<b>Metodo di misurazione</b>												
Diametri	con pregi TIC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti											
Altezza	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3-4 punti											
	Min	34,19	34,56	34,78	35,91	32,02	30,03	9,48	14,62	3,00		
	Medio	34,20	34,57	34,79	35,92	32,03	30,05	9,49	14,63	3,00		
	Max	34,21	34,59	34,79	35,93	32,05	30,06	9,51	14,65	3,01		
	<b>Esito rispetto nominale</b>	-0,40	-0,37	-0,15	-0,08	OK	OK	OK	OK	OK		
	Valore vecchie misurazione pilot											

**Tabella III.19 - Misure effettuate sul wad Mars in bio-PE ed in PBS**

		<b>Wad Mars Pilota - misure materiale BIO</b>				
Modulo n°		Quota	Ø esterno massimo	Ø aggancio con tappo	Altezza esterna	Altezza totale
Rif IDL n°		Valore	(29,60+0,15-0,05)	(9,95-0,05+0,15)	(3,00+0-0,30)	(5,10+0-0,20)
Toll generica (PILOTA)	TBD	<b>Lim. Inf.</b>	<b>29,55</b>	<b>9,90</b>	<b>2,70</b>	<b>4,90</b>
		<b>Lim. Sup.</b>	<b>29,75</b>	<b>10,10</b>	<b>3,00</b>	<b>5,10</b>
<b>Data produzione:</b>	06/12/19	Controllo VISIVO	sottosquadro aggancio tappo strappato			
<b>Tipo Prova</b>	Materiale BIO	Campione n° 1	29,56	10,02	2,54	5,03
<b>Pressa/macchina:</b>	R&D	Campione n° 2	29,59	10,04	2,56	5,02
<b>Materiali</b>	LDPE SPB681 Braskem	Campione n° 3	29,55	10,03	2,58	5,06
<b>Disegno n°</b>						
<b>Operatore</b>	Merlano E					
<b>Data misurazione</b>	12/12/2019					
<b>Metodo di misurazione</b>						
<b>Diametri</b>	con progr TLC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti					
<b>Altezza</b>	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti					
		Min	29,55	10,02	2,54	5,02
		Medio	29,57	10,03	2,56	5,04
		Max	29,59	10,04	2,58	5,06
		<b>Esito rispetto nominale</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>-0,14</b>	<b>OK</b>
		Valore vecchie misurazione piloti	29,59 - 29,60	10,00 - 10,01	2,75 - 2,78	4,97 - 4,99
<b>Data produzione:</b>	06/12/19	Controllo VISIVO	sottosquadro aggancio tappo deformato			
<b>Tipo Prova</b>	Materiale BIO	Campione n° 1	29,99	10,60	3,09	4,66
<b>Pressa/macchina:</b>	R&D	Campione n° 2	30,13	10,15	2,15	5,2
<b>Materiali</b>	M27DF Orios	Campione n° 3	30,02	9,98	2,78	5,27
<b>Disegno n°</b>						
<b>Operatore</b>	Merlano E					
<b>Data misurazione</b>	12/12/2019					
<b>Metodo di misurazione</b>						
<b>Diametri</b>	con progr TLC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti					
<b>Altezza</b>	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti					
		Min	29,99	9,98	2,15	4,66
		Medio	30,05	10,24	2,67	5,04
		Max	30,13	10,60	3,09	5,27
		<b>Esito rispetto nominale</b>	<b>+0,30</b>	<b>+0,14</b>	<b>-0,03</b>	<b>OK</b>
		Valore vecchie misurazione piloti	29,59 - 29,60	10,00 - 10,01	2,75 - 2,78	4,97 - 4,99

**Tabella III.20** - Risultato della prova di assemblaggio al dinamometro sui componenti Cap e Overcap della Mars

Mod n°	 <b>Prova dinamometro :</b> Ch Mars Pilota - assemblaggio sovrappo e tappo				Data inizio	24/06/2019
RefIDL n°					Data fine	24/06/2019
Pag n° 1					Operatore:	Merlano E
<b>Semilavorati/ Ch utilizzate</b>			<b>STR utilizzati e condizione di prova</b>			
Sovrappo Pilota HDPE BIO SHC7260			prove senza condizionamenti			
Tappo Pilota HDPE BIO SHC7260			dinamometro STR105			
			<b>Unità di misura</b>			
<b>Limiti Acc</b>			<b>Esito finale</b>			
<b>Osservazione</b>						
<b>N°</b>	<b>Valore</b>	<b>Note</b>	<b>N°</b>	<b>Valore</b>	<b>Note</b>	
Camp n° 1	43,24		Camp n° 11	39,39		
Camp n° 2	42,07		Camp n° 12	38,41		
Camp n° 3	36,75		Camp n° 13	36,87		
Camp n° 4	34,53		Camp n° 14	38,32		
Camp n° 5	38,11		Camp n° 15	38,73		
Camp n° 6	43,63		Camp n° 16	45,3		
Camp n° 7	40,87		Camp n° 17	36,88		
Camp n° 8	40,16		Camp n° 18	36,19		
Camp n° 9	38,51		Camp n° 19	39,28		
Camp n° 10	33,93		Camp n° 20	38,63		
<b>Min</b>	33,93	<b>Esito</b>	<b>Min</b>	36,19	<b>Esito</b>	
<b>Medio</b>	39,18		<b>Medio</b>	38,80		
<b>Max</b>	43,63		<b>Max</b>	45,30		

**Tabella III.21 - Misure degli scalzamenti effettuati tra tappo e sovratappo Mars in bio-PE**

Mod n°				Data inizio	25/06/2019
Ref IDL n°	<b>Prova dinamometro :</b>			Data fine	25/06/2019
Pag n° 1	Ch Mars Pilota - scalzamento tra sovratappo e tappo			Operatore:	Merlano E
<b>Semilavorati/ Ch utilizzate</b>			<b>STR utilizzati e condizione di prova</b>		
Sovratappo Pilota HDPE BIO SHC7260			prove senza condizionamenti		
Tappo Pilota HDPE BIO SHC7260			dinamometro STR105		
			Unità di misura		
<b>Limiti Acc</b>			<b>Esito finale</b>		
<b>Osservazione</b>					
N°	Valore	Note	N°	Valore	Note
Camp n° 1	29,51		Camp n° 11	28,37	
Camp n° 2	34,77		Camp n° 12	30,12	
Camp n° 3	34,42		Camp n° 13	31,91	
Camp n° 4	33,79		Camp n° 14	25,41	
Camp n° 5	23,89		Camp n° 15	29,21	
Camp n° 6	36,74		Camp n° 16	29,92	
Camp n° 7	31,31		Camp n° 17	32,99	
Camp n° 8	37,65		Camp n° 18	30,86	
Camp n° 9	24,73		Camp n° 19	27,29	
Camp n° 10	28,44		Camp n° 20	24,73	
Min	23,89	Esito	Min	24,73	Esito
Medio	31,53		Medio	29,08	
Max	37,65		Max	32,99	

**Tabella III.22 - Risultati delle prove di apertura e richiusura effettuate sulla Mars Biobased**

Mod n°				Start date:	10/01/2020	
RefIDL n°				Aperture	End date:	10/01/2020
Pag n° 1				Mars Bio	Operator:	Pepe L.

<b>Bottle:</b>	Absolut Vodka	<b>Components:</b>	<b>Drawings:</b>	<b>Notes:</b>
<b>Bead:</b>	Nominale	Sovratappo		HDPE SHC 7260 Braskem
<b>Application:</b>	Manuale	Tappo		HDPE SHC 7260 Braskem
<b>Capping load:</b>		Wad		LDPE SPB 681 Braskem
<b>Temp:</b>	Ambiente			
<b>Ageing:</b>	naturale			

**APPLICAZIONE MANUALE CON ANGOLO DI AVVITAMENTO 360°+65°/75°**

APPLICAZIONE CON BOCCA ASCIUTTA

N°	Valore Tappatura	Apertura	Richiusura	N°	Valore Tappatura	Apertura	Richiusura
1		19,41	37,31	13	31,70	17,97	45,23
2	35,10	18,93	27,77	14	38,84	21,05	34,36
3	31,00	19,61	27,02	15	37,47	21,14	36,66
4	34,46	20,28	37,3	16	35,68	18,71	45,12
5	27,31	14,33	36,36	17	37,02	16,92	49,47
6	34,66	23,22	36,21	18	36,83	19,23	46,9
7	33,62	18,11	37,86	19	38,08	21,55	42,35
8	38,24	22,80	37,13	20	39,44	19,92	44,84
9	35,74	20,48	39,11	21			
10	34,87	18,42	45,81	22			
11	35,28	19,08	45,09	23			
12	42,28	18,44	37,64	24			
	Tappatura	Apertura	Richiusura	<b>Note</b>			
Min	27,31	14,33	27,02	Per raggiungere il valore di chiusura richiesto sono necessari torques molto elevati; in richiusura non si sono rotti componenti, né sono scavalcati filetti.			
Media	35,66	19,48	39,48				
Max	42,28	23,22	49,47				

APPLICAZIONE CON BOCCA BAGNATA				APPLICAZIONE CON BOCCA BAGNATA E APERTURA DOPO 24H			
1	27,90	12,58		1	22,39	14,95	
2	27,69	14,89		2	20,81	15,35	
3	30,33	14,73		3	25,51	18,95	
4	24,97	13,24		4	28,77	20,43	
5	26,36	13,03		5	22,16	13,69	
6				6	25,18	16,75	
7				7	27,10	15,17	
8				8	27,58	20,64	
9				9	24,71	15,12	
10				10	25,85	17,20	
11				11			
12				12			
	Tappatura	Apertura	Richiusura		Tappatura	Apertura	Richiusura
Min	20,81	13,03	0,00	Min	20,81	13,69	0,00
Media	25,69	16,09	#DIV/0!	Media	24,86	17,03	#DIV/0!
Max	30,33	20,64	0,00	Max	27,58	20,64	0,00

**Note** Applicando le chiusure secondo gli angoli applicati normalmente si raggiungono comunque valori elevati, sia da sciutti che bagnati.

In seguito a questa prova si eseguiranno test per identificare il valore di chiusura più idoneo al corretto funzionamento.

**Tabella III.23 - Esito della prova di tenuta a temperatura ambiente sulla Mars Biobased**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>MARS BIO</b>				Data inizio		10/01/2020	
					Data fine		13/01/2020	
Ref IDL n°					Operatore:		Pepe L.	
<b>Tipo Bottiglia</b>	Absolut Vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>				Disegno n°
<b>Capacità</b>	700ml / 1000ml			Sovratappo HDPE SHC 7260 Braskem				
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.			Tappo HDPE SHC 7260 Braskem				
<b>Spazio libero</b>	3%			Wad LDPE SPB 681 Braskem				
Tipo prova	Prova di tenuta:			72 ore a temp ambiente		Prove di aperture e richiusura (lbi)		
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Apertura				NOTE
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g					
Campione n° 1	1167,53	1167,53	0					Bottiglia 700 ml, Torque 20
Campione n° 2	1166,53	1166,51	0,02					Bottiglia 700 ml, Torque 20
Campione n° 3	1168,11	1168,11	0					Bottiglia 700 ml, Torque 20
Campione n° 4	1166,16	1166,16	0					Bottiglia 700 ml, Torque 20
Campione n° 5	1172,29	1172,29	0					Bottiglia 700 ml, Torque 20
Campione n° 6	1681,89	1681,89	0					Bottiglia 1000 ml, Torque 24
Campione n° 7	1682,39	1682,38	0,01					Bottiglia 1000 ml, Torque 24
Campione n° 8	1684,68	1684,58	0,1					Bottiglia 1000 ml, Torque 24
Campione n° 9	1684,66	1684,64	0,02					Bottiglia 1000 ml, Torque 24
Campione n° 10	1685,54	1685,48	0,06					Bottiglia 1000 ml, Torque 24
Campione n° 11			0					
Campione n° 12			0					
<b>Esito Prova di tenuta campioni 1-5</b>				<b>Esito Prova di tenuta campioni 6-10</b>				
<b>Minimo</b>	0,00			<b>Minimo</b>	0,00			
<b>Media</b>	0,00			<b>Media</b>	0,04			
<b>Massimo</b>	0,02			<b>Massimo</b>	0,10			
<b>Osservazione</b>	POSITIVA							

**Tabella III.24 - Esito della prova di tenuta sottovuoto eseguita sulla Mars Biobased**

		<b>Tabella di lavoro per testare le caratteristiche delle chiusure</b>																							
Tipo di Prova:	Tenuta resistenza sotto vuoto	Rif IDL	I00185																						
<b>Prova su Chiusura:</b>	MARS BIOBASED																								
Tipo di componenti utilizzati:	SOVRATAPPO HDPE SHC 7260 BRASKEM TAPPO HDPE SHC 7260 BRASKEM WAD LDEP SPB 681 BRASKEM																								
Tipo di strumenti utilizzati:	BOTTIGLIA: Absolut Vodka 700 ml / 1000 ml PRODOTTO: Soluzione idoralcolica																								
NOTE:	Campioni applicati manualmente; da 1 a 5 con torque circa 20, da 6 a 10 con torque circa 24																								
<b>ESITO DELLA PROVA</b>																									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>ESITO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>2</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>3</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>4</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>5</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>6</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>7</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>8</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>9</td><td>Positivo</td></tr> <tr><td>10</td><td>Positivo</td></tr> </tbody> </table>				N°	ESITO	1	Positivo	2	Positivo	3	Positivo	4	Positivo	5	Positivo	6	Positivo	7	Positivo	8	Positivo	9	Positivo	10	Positivo
N°	ESITO																								
1	Positivo																								
2	Positivo																								
3	Positivo																								
4	Positivo																								
5	Positivo																								
6	Positivo																								
7	Positivo																								
8	Positivo																								
9	Positivo																								
10	Positivo																								
Limite di Accettabilita' o di Riferimento:	<b>NESSUNA PERDITA ESTERNA</b>																								
Esito della prova:	Superata																								
Data inizio prova:	10/01/2020	fine:	10/01/2020																						
Esecutore:	Pepe L.		Visto:																						

**Tabella III.25 - Risultato prova di tenuta in forno sulla Mars Bio (primo tentativo), parte 1**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>MARS BIO</b>					Data inizio		
						13/01/2020		
Ref IDL n°						Data fine		
						15/01/2020		
						Operatore:		
						Pepe L.		
<b>Tipo Bottiglia</b>	Absolut Vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>		Disegno n°		
<b>Capacità</b>	700ml / 1000ml	Campioni 1-5 chiusi con torque 20		Sovratappo HDPE SHC 7260 Braskem				
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroale.	Campioni 6-10 chiusi con torque 24		Tappo HDPE SHC 7260 Braskem				
<b>Spazio libero</b>	3%	Campioni 11-15 chiusi con torque 26		Wad LDPE SPB 681 Braskem				
Tipo prova	Prova di tenuta:			24 h a 40°C		Prove di aperture e richiusura (lbi)		NOTE
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura			
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g					
Campione n° 1	1167,53	1164,9	2,63	7,01				
Campione n° 2	1166,53	1166,27	0,26	13		Nessuna perdita visiva		
Campione n° 3	1168,11	1168,01	0,1	13,16		Nessuna perdita visiva		
Campione n° 4	1166,16	1166,16	0	16,59				
Campione n° 5	1172,29	1172,17	0,12	14,7		Nessuna perdita visiva		
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>					
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	7,01		0,00		
<b>Media</b>	0,62		<b>Media</b>	14,36		#DIV/0!		
<b>Massimo</b>	2,63		<b>Massimo</b>	16,59		0,00		
Campione n° 6	1681,89	1681,89	0	22				
Campione n° 7	1682,39	1682,36	0,03	20,55		Nessuna perdita visiva		
Campione n° 8	1684,68	1681,12	3,56	8,56				
Campione n° 9	1684,66	1683,88	0,78	13,65				
Campione n° 10	1685,54	1683,98	1,56	10,45				
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>					
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	8,56		0,00		
<b>Media</b>	1,19		<b>Media</b>	13,30		#DIV/0!		
<b>Massimo</b>	3,56		<b>Massimo</b>	20,55		0,00		

**Tabella III.26 - Risultato prova di tenuta in forno sulla Mars Bio (primo tentativo), parte 2**

Campione n° 11	1686,58	1681,91	4,67	8,26		
Campione n° 12	1685,01	1679,38	5,63	9,63		
Campione n° 13	1682,72	1679,74	2,98	12,55		
Campione n° 14	1683,97	1683,14	0,83	9,95		
Campione n° 15	1686,03	1685,5	0,53	9,72		
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>			
<b>Minimo</b>	0,53		<b>Minimo</b>	8,26		0,00
<b>Media</b>	2,93		<b>Media</b>	10,46		#DIV/0!
<b>Massimo</b>	5,63		<b>Massimo</b>	12,55		0,00
<b>Osservazione</b>	Le prove hanno avuto esito negativo, continuare ad indagare.					

**Tabella III.27 - Risultato prova di tenuta in forno sulla Mars Bio (secondo tentativo)**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> Prove di tenuta e aperture MARS BIO					Data inizio		
						29/01/2020		
Ref IDL n°						Data fine		
						30/01/2020		
						Operatore:		
						Pepe L.		
<b>Tipo Bottiglia</b>	Absolut Vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>			Disegno n°	
<b>Capacità</b>	700ml	Campioni chiusi con Torque 24		Sovratappo e tappo in materiale originale (ABS/PC e PP)				
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.	Campioni 1-5 con materiali originali		Wad in Lupolen 2420K				
<b>Spazio libero</b>	3%	Campioni 6-10 con wad in bio-PE		Wad in SPB 681 Braskem				
Tipo prova	Prova di tenuta:			24 h a 40°C		Prove di aperture e richiusura (Ibi)		NOTE
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura			
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g					
Campione n° 1	1224,86	1224,84	0,02	14,32		Nessuna perdita visiva		
Campione n° 2	1177,69	1177,69	0	15,05				
Campione n° 3	1178,08	1178,08	0	10,02				
Campione n° 4	1175,96	1175,96	0	13,3				
Campione n° 5	1178,15	1178,15	0	12,44				
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>					
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	10,02		0,00		
<b>Media</b>	0,00		<b>Media</b>	12,70		#DIV/0!		
<b>Massimo</b>	0,02		<b>Massimo</b>	15,05		0,00		
Campione n° 6	1173,98	1173,95	0,03	14,61				
Campione n° 7	1170,82	1169,61	1,21	8,91				
Campione n° 8	1179,68	1179,3	0,38	8,56		Base del cap sporca		
Campione n° 9	1173,59	1173,56	0,03	13,51				
Campione n° 10	1178,81	1178,8	0,01	9,57				
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>					
<b>Minimo</b>	0,01		<b>Minimo</b>	8,56		0,00		
<b>Media</b>	0,33		<b>Media</b>	10,14		#DIV/0!		
<b>Massimo</b>	1,21		<b>Massimo</b>	13,51		0,00		
<b>Osservazione</b>	Le prove col bio-PE hanno avuto esito negativo, continuare ad indagare sulle proprietà del grado SPB 681							

**Tabella III.28 - Risultato prova di tenuta in forno sulla Mars Bio (terzo tentativo)**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>MARS BIO</b>					Data inizio	
						30/01/2020	
Ref IDL n°						Data fine	
						31/01/2020	
						Operatore:	
						Pepe L.	
Tipo Bottiglia	Absolut Vodka	Note		Componenti		Disegno n°	
Capacità	700ml	Campioni 1-5 chiusi con torque 16		Sovratappo HDPE SHC 7260 Braskem			
Liquido	Soluz. Idroale.			Tappo HDPE SHC 7260 Braskem			
Spazio libero	3%			Wad LDPE SPB 681 Braskem			
Tipo prova	Prova di tenuta:			Prove di aperture e richiusura (Ibi)			NOTE
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura		
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g				
Campione n° 1	1224,57	1218,82	5,75	7,53			
Campione n° 2	1179,39	1170,98	8,41	8,46			
Campione n° 3	1180,02	1175,22	4,8	8,11			
Campione n° 4	1173,74	1164,54	9,2	9,37			
Campione n° 5	1171,1	1161,2	9,9	8,7			
Esito Prova di tenuta			Esito Prova di apertura e richiusura				
Minimo	4,80		Minimo	7,53		0,00	
Media	7,61		Media	8,66		#DIV/0!	
Massimo	9,90		Massimo	9,37		0,00	
Osservazione	La prova ha avuto esito negativo, continuare ad indagare.						

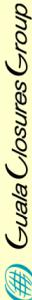
**Tabella III.29 – Risultato prova di tenuta in forno sulla Mars Bio (quarto tentativo)**

Mod n°	 <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>MARS BIO</b>					Data inizio	03/02/2020
						Data fine	04/02/2020
Ref IDL n°						Operatore:	Pepe L.
<b>Tipo Bottiglia</b>	Absolut Vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>			Disegno n°
<b>Capacità</b>	700ml	Campioni 1-5 chiusi con torque 20		Sovratappo HDPE SHC 7260 Braskem			
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.	Campioni 6-10 chiusi con torque 24		Tappo HDPE SHC 7260 Braskem			
<b>Spazio libero</b>	3%	Wad PBS ORIOS B7 M27DF (fuori tolleranza)					
Tipo prova	Prova di tenuta: 24 h a 40°C			Prove di aperture e richiusura (Ibi)		NOTE	
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura		
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g				
Campione n° 1	1179,23	1168,85	10,38	8,01			
Campione n° 2	1178,05	1171,08	6,97	6,82			
Campione n° 3	1176,52	1170,97	5,55	8,07			
Campione n° 4	1175,09	1169,69	5,4	8,53			
Campione n° 5	1178,57	1170,87	7,7	7,53			
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>				
<b>Minimo</b>	5,40		<b>Minimo</b>	6,82		0,00	
<b>Media</b>	7,20		<b>Media</b>	7,74		#DIV/0!	
<b>Massimo</b>	10,38		<b>Massimo</b>	8,53		0,00	
Campione n° 6	1180,28	1172,88	7,4	8,96			
Campione n° 7	1225,63	1225,63	0	10,72			
Campione n° 8	1174,44	1173,4	1,04	9,65			
Campione n° 9	1180,37	1176,64	3,73	9,12			
Campione n° 10	1171,32	1169,48	1,84	8,9			
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>				
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	8,90		0,00	
<b>Media</b>	2,80		<b>Media</b>	9,60		#DIV/0!	
<b>Massimo</b>	7,40		<b>Massimo</b>	10,72		0,00	
<b>Osservazione</b>	Le prove hanno avuto esito negativo, continuare ad indagare.						

Tabella III.30 - Misure effettuate sul sovratapoo Bikini in bio-PE

		<b>Sovratapoo Bikini 28 BIO rilievi quote principali</b>							
Modulo n° IDL n°	Rif	Quota	Ø esterno base (32,31±0,10)	Ø interno base (30,80±0,10)	Ø tacche antirotazone	Ø base righette antiscaldamento	Ø righette antiscaldamento	Ø esterno cupola	Altezza totale (16,50±0,10)
<b>Metodo di misurazione</b>		Valore	32,31	30,70	29,60	29,30+0-0,10	28,70		16,40
<b>Diametri</b> con progr TLC STR470 : Ø medio su almeno 3 punti		<b>Lim. Inf.</b>	31,21	30,70	29,53	29,20			16,40
<b>Altezza</b> con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti		<b>Lim. Sup.</b>	31,41	30,90		29,30			16,60
<b>Data produzione:</b>	10/06/19	Figura n° 1	32,19	30,70	29,53	29,19	28,75	31,85	16,36
<b>Data misurazione</b>	20/06/2019	Figura n° 2	32,19	30,69	29,53	29,2	28,75	31,85	16,36
<b>Pressa/macchina:</b>	R&D	Figura n° 3	32,19	30,71	29,52	29,23	28,76	31,84	16,37
<b>Materiali</b>	BIO HDPE								
<b>Disegno n°</b>									
<b>Controllo VISIVO:</b>									
<b>Peso compreso tra</b>		Min	32,19	30,69	29,52	29,19	28,75	31,84	16,36
<b>NOTE</b>		Medio	32,19	30,70	29,53	29,21	28,75	31,85	16,36
		Max	32,19	30,71	29,53	29,23	28,76	31,85	16,37
		<b>Esito risp toll</b>	-0,02	ACC	-0,07	OK	+0,05		-0,04
		Valore vecchie misurazione produzione							

**Tabella III.31 - Misure effettuate sul tappo Bikini stampato in bio-PE**

		<b>Tappo Bikini 28 BIO rilievi quote principali</b>									
Modulo n° IDL n°	Rif	Quota	Ø esterno massimo (32,32±0,15-0)	Ø tacche antirotaazione (30,40±0,05)	Ø righezza anti-impilamento (29,40±0,0,15)	Ø base filetti (27,70±0,10)	Ø cresta filetti (25,40±0,10)	Ø aletta esterna Ø aletta interna	Altezza totale (24,40±0,15-0)	Altezza alette bottiglia (4,20±0,05)	
<b>Metodo di misurazione</b>		Valore									
<b>Diametri</b>	con progr. T.L.C. STR470 : Ø medio su almeno 3 punti	<b>Lim. Inf.</b>	<b>32,32</b>	<b>30,35</b>	<b>29,25</b>	<b>27,60</b>	<b>25,30</b>		<b>24,40</b>	<b>4,15</b>	
<b>Altezza</b>	con comparatore STR632 / STR717 : media su 3/4 punti	<b>Lim. Sup.</b>	<b>32,47</b>	<b>30,45</b>	<b>29,40</b>	<b>27,80</b>	<b>25,50</b>		<b>24,55</b>	<b>4,25</b>	
<b>Data produzione:</b>	10/06/19	Figura n° 1	32,40	30,23	29,09	27,60	25,12	23,01	24,25	4,21	
<b>Data misurazione</b>	20/06/2019	Figura n° 2	32,46	30,25	29,14	27,65	25,22	23,04	24,25	4,21	
<b>Pressa/macchina:</b>	R&D	Figura n° 3	32,46	30,25	29,09	27,61	25,19	23,02	24,27	4,19	
<b>Materiali</b>	BIO HDPE	Figura n° 4	32,46	30,26	29,11	27,6	25,19	23,07	24,26	4,21	
<b>Disegno n°</b>	CH 0153 Rev 3	Figura n° 5	32,5	30,24	29,13	27,58	25,25	23,06	24,28	4,22	
<b>Controllo VISIVO:</b>		Figura n° 6	32,43	30,24	29,15	27,57	25,22	23,05	24,24	4,19	
		Figura n° 7	32,45	30,24	29,16	27,65	25,24	23,06	24,21	4,22	
		Figura n° 8	32,39	30,28	29,17	27,65	25,24	23,08	24,24	4,22	
<b>Peso compreso tra</b>		Min	32,39	30,23	29,09	27,57	25,12	23,01	24,21	4,19	
<b>NOTE</b>		Medio	32,44	30,25	29,13	27,61	25,21	23,05	24,25	4,21	
		Max	32,50	30,28	29,17	27,65	25,25	23,08	24,28	4,22	
		<b>Esito risp toll</b>	OK	-0,10	-0,12	OK	-0,09	-0,05	-0,15	OK	
		Valore vecchie misurazione produzione	32,33 - 32,43	30,41 - 30,50	29,32 - 29,40	27,60 - 27,80	25,36 - 25,43		24,37 - 24,43		

**Tabella III.32 - Risultati delle prove di apertura effettuate sulla chiusura Bikini in bio-PE**

Mod n°				Start date:	19/07/2019	
Ref IDL n°				Aperture	End date:	19/07/2019
Pag n° 1				Bikini Bio	Operator:	Bidone G.

<b>Bottle:</b>	Sky vodka	<b>Components:</b>	<b>Drawings:</b>	<b>Notes:</b>
<b>Bead:</b>	Nominale	Cappuccio		Tappo in HDPE
<b>Application:</b>	Tappatore (R&D)	Tappo		Braskem
<b>Capping load:</b>				SHC 7260
<b>Temp:</b>	Ambiente			
<b>Ageing:</b>	naturale			

**APPLICAZIONE MANUALE CON ANGOLO DI AVVITAMENTO 360°+90°/110°**

APPLICAZIONE CON BOCCA ASCIUTTA				APPLICAZIONE CON BOCCA BAGNATA			
N°	Sblocco filetti	Rottura ponticelli	Note/Risultati	N°	Sblocco filetti	Rottura ponticelli	Note/Risultati
1	8,65	4,67		1	5,12	2,50	
2	7,74	6,05		2	4,16	2,70	
3	10,37	5,63		3	4,29	2,94	
4	8,83	5,59		4	4,65	3,20	
5	7,64	6,11		5	2,60	2,42	
6	10,24	6,05		6	5,84	2,76	
7	9,58	6,25		7	6,22	2,80	
8	8,20	5,60		8	4,25	2,71	
9	8,34	5,34		9	4,32	2,75	
10	9,98	6,14		10	4,71	2,96	
11	10,33	5,97		11	6,47	3,37	
12	7,52	4,27		12	5,64	3,21	
		<b>Sblocco</b>	<b>Rottura</b>			<b>Sblocco</b>	<b>Rottura</b>
Min		7,52	4,27	Min		2,60	2,42
Media		8,95	5,64	Media		4,86	2,86
Max		10,37	6,25	Max		6,47	3,37

**APPLICAZIONE CON TAPPATORE MONOTESTA AROL**

APPLICAZIONE CON BOCCA ASCIUTTA				APPLICAZIONE CON BOCCA BAGNATA			
N°	Sblocco filetti	Rottura ponticelli	Note/Risultati	N°	Sblocco filetti	Rottura ponticelli	Note/Risultati
1	7,54	5,60		1	10,50	3,64	
2	7,30	6,54		2	10,00	3,92	
3	8,09	6,09		3	6,62	3,32	
4	4,54	4,82		4	3,43	3,25	
5	9,13	6,08		5	3,97	3,03	
6	10,15	5,55		6	10,60	2,68	
7	5,12	5,44		7	11,10	2,52	
8	8,83	5,89		8	10,19	2,56	
9	9,02	5,11		9	11,70	3,24	
10	5,34	5,80		10	5,11	2,96	
11	8,82	6,13		11	12,48	3,56	
12	5,60	5,60		12	11,81	3,32	
		<b>Sblocco</b>	<b>Rottura</b>			<b>Sblocco</b>	<b>Rottura</b>
Min		4,54	4,82	Min		3,43	2,52
Media		7,46	5,72	Media		8,96	3,17
Max		10,15	6,54	Max		12,48	3,92

**Note** Con l' applicazione manuale raggiungendo l' angolo di avvitemento desiderato i valori di apertura sono più costanti.

Si segnala inoltre che le alette del tappo non si piegano fino in fondo e in applicazione possono rimanere fuori

**Tabella III.33 - Risultato della prova di tenuta a temperatura ambiente effettuata sulla Bikini in bio-PE**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>BIKINI BIO</b>					Data inizio	18/07/2019	
Ref IDL n°						Data fine	22/07/2019	
							Operatore:	Bidone G.
<b>Tipo Bottiglia</b>	SKY vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>			Disegno n°	
<b>Capacità</b>	750 ml			Tappo HDPE Braskem SHC 7260				
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.			Sovratappo HDPE Braskem SHC 7260				
<b>Spazio libero</b>	3%							
Tipo prova	Prova di tenuta:			Prove di aperture e richiusura (lbi)		NOTE		
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura			
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g					
Campione n° 1	1207,91	1207,91	0	11,82	8,65			
Campione n° 2	1205,13	1205,13	0	12,62	6,9			
Campione n° 3	1204,8	1204,8	0	12,39	7,15			
Campione n° 4	1206,44	1206,44	0	11,44	6,71			
Campione n° 5	1206,64	1206,64	0	11,31	7,25			
Campione n° 6	1208,04	1208,04	0	12,49	7,77			
Campione n° 7	1207,04	1207,04	0	12,97	8			
Campione n° 8	1207,95	1207,95	0	11,64	6,71			
Campione n° 9	1206,08	1206,08	0	11,46	5,92			
Campione n° 10	1206,01	1206,01	0	10,87	7,68			
Campione n° 11	1206,03	1206,03	0	11,27	7,88			
Campione n° 12	1205,2	1205,2	0	12,51	7,54			
Esito Prova di tenuta			Esito Prova di apertura e richiusura					
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	10,87		5,92		
<b>Media</b>	0,00		<b>Media</b>	11,91		7,23		
<b>Massimo</b>	0,00		<b>Massimo</b>	12,97		8,00		
<b>Osservazione</b>	POSITIVA							

**Tabella III.34 - Risultato della prova di tenuta a 43°C effettuata sulla Bikini in bio-PE**

Mod n°	 <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>BIKINI BIO</b>					Data inizio	18/07/2019	
Ref IDL n°						Data fine	22/07/2019	
							Operatore:	Bidone G.
<b>Tipo Bottiglia</b>	SKY vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>			Disegno n°	
<b>Capacità</b>	750 ml			Tappo HDPE Braskem SHC 7260				
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroale.			Sovratappo HDPE Braskem SHC 7260				
<b>Spazio libero</b>	3%							
Tipo prova	Prova di tenuta: 72 ore a 43°			Prove di aperture e richiusura (lbi)		NOTE		
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura			
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g					
Campione n° 1	1207,66	1207,66	0	7,36	7,59			
Campione n° 2	1207,99	1207,98	0,01	12,17	6,73			
Campione n° 3	1206,07	1205,81	0,26	6,65	6,17	Nessuna perdita visiva		
Campione n° 4	1207,3	1207,3	0	11,25	8,28			
Campione n° 5	1207,56	1207,56	0	10,53	7,53			
Campione n° 6	1207,19	1207,18	0,01	4,96	6,98			
Campione n° 7	1208,39	1208,08	0,31	4,17	6,66	Nessuna perdita visiva		
Campione n° 8	1207,06	1207,04	0,02	8,07	8,85			
Campione n° 9	1207,97	1207,96	0,01	4,69	7,87			
Campione n° 10	1207,25	1207,23	0,02	5,54	7,32			
Campione n° 11	1206,16	1206,11	0,05	7,47	7,4			
Campione n° 12	1207,37	1207,34	0,03	9,75	9,23			
Esito Prova di tenuta			Esito Prova di apertura e richiusura					
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	4,17		6,17		
<b>Media</b>	0,06		<b>Media</b>	7,75		7,55		
<b>Massimo</b>	0,31		<b>Massimo</b>	12,17		9,23		
<b>Osservazione</b>	POSITIVA							

**Tabella III.35 – Risultato della prova di tenuta in freezer effettuata sulla Bikini in bio-PE**

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>BIKINI BIO</b>					Data inizio	
						18/07/2019	
Ref IDL n°						Data fine	
						22/07/2019	
						Operatore:	
						Bidone G.	
<b>Tipo Bottiglia</b>	SKY vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>		Disegno n°	
<b>Capacità</b>	750/700 ml			Tappo HDPE Braskem SHC 7260			
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.			Sovratappo HDPE SHC 7260			
<b>Spazio libero</b>	3%						
Tipo prova	<b>Prova di tenuta:</b>			<b>Prove di aperture e richiusura (Ibi)</b>		NOTE	
	<b>Peso iniziale</b>	<b>Peso finale</b>	<b>Delta (g)</b>	<b>Stacco</b>	<b>Rottura</b>		
<b>Limiti di accettabilità</b>			<b>Max perdita 2 g</b>				
Campione n° 1	1206,61	1206,61	0	12,8	5,51		
Campione n° 2	1202,07	1202,07	0	13,68	4,95		
Campione n° 3	1205,23	1205,23	0	14,22	5,88		
Campione n° 4	1114,61	1114,61	0	15,04	5,77		
Campione n° 5	1113,15	1113,15	0	16,56	7,93		
Campione n° 6	1113,77	1113,77	0	12,95	5,02		
Campione n° 7	1113,59	1113,59	0	13,72	6,68		
Campione n° 8	1111,4	1111,4	0	13,14	9,17		
Campione n° 9	1115,07	1115,07	0	12,59	4,97		
Campione n° 10	1115,02	1115,02	0	13,21	6,34		
Campione n° 11	1114,37	1114,37	0	12,8	6,22		
Campione n° 12	1114,03	1114,03	0	13,5	5,28		
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>				
<b>Minimo</b>	0,00		<b>Minimo</b>	12,59		4,95	
<b>Media</b>	0,00		<b>Media</b>	13,76		6,20	
<b>Massimo</b>	0,00		<b>Massimo</b>	16,56		9,17	
<b>Osservazione</b>	POSITIVA						

**Tabella III.36** - Risultato della prova di tenuta in forno con volume libero del 2% effettuata sulla Bikini in bio-PE

Mod n°	 <b>Guala Closures Group</b> <b>Prove di tenuta e aperture</b> <b>BIKINI BIO</b>				Data inizio	26/07/2019
Ref IDL n°					Data fine	28/07/2019
				Operatore:		Bidone G.
<b>Tipo Bottiglia</b>	SKY vodka	<b>Note</b>		<b>Componenti</b>		Disegno n°
<b>Capacità</b>	750 ml			Tappo + Sovratappo		
<b>Liquido</b>	Soluz. Idroalc.			HDPE Braskem SHC 7260		
<b>Spazio libero</b>	2%					
Tipo prova	Prova di tenuta:	48 ore a 45°		Prove di aperture e richiusura (lbi)		NOTE
	Peso iniziale	Peso finale	Delta (g)	Stacco	Rottura	
Limiti di accettabilità			Max perdita 2 g			
Campione n° 1	1212,41	1195,01	17,4			
Campione n° 2	1210,88	1208,16	2,72			
Campione n° 3	1212,64	1202,29	10,35			
Campione n° 4	1210,01	1198,38	11,63			
Campione n° 5	1210,85	1197,1	13,75			
Campione n° 6	1214,05	1201,81	12,24			
Campione n° 7	1214,03	1204,38	9,65			
Campione n° 8	1213,38	1205,07	8,31			
Campione n° 9	1212,51	1200,77	11,74			
Campione n° 10	1210,78	1195,88	14,9			
Campione n° 11	1211,78	1199,98	11,8			
Campione n° 12	1210,57	1196,22	14,35			
<b>Esito Prova di tenuta</b>			<b>Esito Prova di apertura e richiusura</b>			
<b>Minimo</b>	2,72		<b>Minimo</b>	0,00		0,00
<b>Media</b>	11,57		<b>Media</b>	#DIV/0!		#DIV/0!
<b>Massimo</b>	17,40		<b>Massimo</b>	0,00		0,00