

Capitolo 2

Proprietà chimiche dei materiali di packaging

Sono definite chimiche le proprietà che dipendono dalla natura chimica (atomica e molecolare) dei materiali e che variano solo per modificazioni, il più delle volte irreversibili, della loro struttura chimica; tali modificazioni, peraltro, determinano profondi cambiamenti anche in numerose proprietà fisiche dei materiali. Per struttura chimica di un materiale si può intendere l'insieme della *natura chimica dei costituenti* la materia e della loro *organizzazione*; considerando questi due elementi rappresentativi dei solidi utilizzati per produrre imballaggi, si ricavano utili e semplici criteri di classificazione ed, in questo contesto, può risultare conveniente definire, preliminarmente, le relazioni che esistono tra la struttura chimica dei materiali e alcune fondamentali caratteristiche dei materiali di confezionamento.

2.1 Struttura chimica e caratteristiche dei materiali

2.1.1 Costituenti atomici

Il tipo di atomi che formano i materiali permette una prima, e non irrilevante, suddivisione in *materie organiche* (materie plastiche e materiali cellulosici) e *materie inorganiche* (vetro e metalli). Rispetto alle inorganiche, le materie organiche – così definite per la presenza di atomi di carbonio – presentano di norma densità e punto di fusione o di combustione più bassi e suscettibilità all'ossidazione e sensibilità ai solventi maggiore.

2.1.2 Legami tra atomi

Anche il tipo di legame che si stabilisce tra gli atomi nella formazione delle molecole può essere considerato un criterio di classificazione dei materiali e spiegare alcuni dei loro comportamenti. I legami covalenti (detti omopolari se uniscono due atomi uguali ed eteropolari se uniscono due atomi diversi) consistono nella compartecipazione di elettroni da parte degli atomi che si legano; sono tipici dei materiali cellulosici e della maggior parte delle materie plastiche e rendono conto della scarsa conducibilità di questi materiali. Insieme ai legami covalenti, i legami ionici (che si formano quando uno o più elettroni si trasferiscono da un atomo a un altro e gli ioni che ne risultano sono tra loro attratti da forze di natura coulombiana) caratterizzano la struttura del vetro e di alcune particolari resine plastiche, giustificandone in parte la tenacità. Il legame metallico è invece proprio di alluminio, acciai e altre leghe ferrose e rende conto della conducibilità termica ed elettrica di questi materiali, come pure della

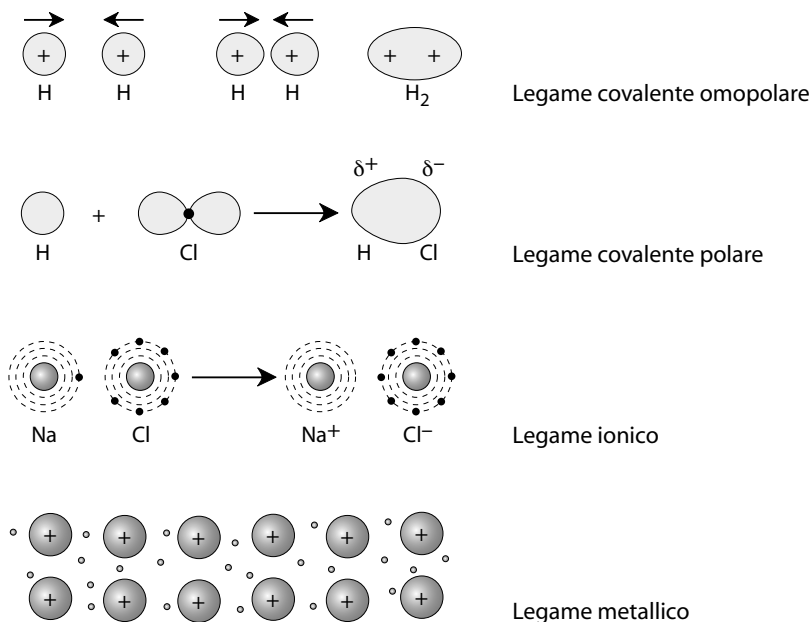


Figura 2.1 Diversi tipi di legami tra atomi. Dall'alto verso il basso: legame covalente omopolare; legame covalente polare; legame ionico; legame metallico.

loro corrodibilità. Tale legame viene descritto, sommariamente, come l'attrazione tra un insieme di ioni positivi e un *gas elettronico* formato dagli elettroni di valenza. In figura 2.1 sono rappresentate schematicamente le diverse tipologie di legame tra atomi.

2.1.3 Legami molecolari

Quando un materiale si rompe o viene tagliato i legami esistenti tra le molecole possono essere elisi in funzione della natura e della forza del legame stesso, che dipendono, a loro volta, dal tipo di molecole e dalla distanza tra di esse: una piccola distanza corrisponde a forze più intense (tabella 2.1). Nei solidi, a differenza che nei liquidi, queste forze sono di norma piuttosto elevate e per vincerle, infatti, occorre fornire molta energia; se fornita sotto forma

Tabella 2.1 Relazione tra forza di legame e distanza per i principali tipi di legame

Tipo di legame	Forza di legame e relazione con la distanza (r)
Legame covalente	Molto forte e direzionale, agisce a breve distanza
Legame ionico	Molto forte, non direzionale, diminuisce al crescere della distanza secondo la funzione $1/r$
Forze di van der Waals (dipolo permanente-dipolo indotto)	Piuttosto deboli, tendono all'infinito per $r \rightarrow 0$ e si annullano per $r \rightarrow \infty$
Interazione dipolo istantaneo-dipolo indotto (forze di London)	Molto debole, diminuisce all'aumentare della distanza secondo la funzione $1/r^6$

di calore il materiale raggiunge il punto di fusione, nel quale il suo comportamento ricorda quello di un liquido. L'energia da fornire, tanto per rompere quanto per fondere un materiale, è dunque funzione della forza del legame secondario che unisce le sue molecole: nel vetro e nei metalli le molecole sono molto vicine tra di loro e i legami molecolari in gioco molto più forti che nei materiali plastici e nei derivati della cellulosa. I principali legami chimici secondari possono essere classificati come segue.

- *Legame dipolo-dipolo.* Si tratta di un legame determinato da una forza di natura elettrostatica che si manifesta tra molecole polari. Ogni molecola polare, infatti, presenta un'estremità positiva e un'estremità negativa: la parte positiva attira la parte negativa di una molecola vicina; le molecole risultano così legate l'una all'altra da una forza attrattiva di natura elettrostatica.
- *Forze di van der Waals e di dispersione di London.* Le prime si formano tra molecole polari che si orientano avvicinando le estremità di segno opposto o tra molecole polari e apolari che assumono una carica. La forza di van der Waals si distingue dalla *forza di dispersione di London*, in quanto quest'ultima si genera tra un dipolo istantaneo e un dipolo indotto, mentre quella di van der Waals è caratterizzata da un dipolo permanente e un dipolo indotto.
- *Legame idrogeno.* Rappresenta un caso particolare di interazione tra dipoli. In particolare si tratta di un legame dipolo permanente-dipolo permanente, nel quale è implicato un atomo di idrogeno impegnato in un legame covalente con elementi molto elettronegativi (come fluoro, ossigeno o azoto), che attraggono a sé gli elettroni di valenza, acquisendo una parziale carica negativa e lasciando l'idrogeno con una parziale carica positiva.

Oltre a svolgere un ruolo importante nel determinare le proprietà fisiche (come gli stati di aggregazione), le forze deboli dei legami secondari (o intermolecolari) sono alla base di diversi fenomeni fisici e chimici, quali coesione, adesione, attrito, diffusione, tensione superficiale e viscosità. Naturalmente, in tutti questi casi le forze in gioco sono assai minori di quelle dei legami principali; per esempio, se l'energia media per rompere un legame covalente (energia di legame primario o interatomico) è pari a $100 \text{ kcal mol}^{-1}$, quella calcolata per i legami secondari (energia di legame secondario) è di sole 10 kcal mol^{-1} . Le forze di coesione (che riguardano i legami tra molecole uguali o simili) e le forze di adesione (che riguardano molecole differenti) sono estremamente importanti per tutti i materiali di packaging, poiché sono coinvolte in numerosi fenomeni che riguardano sia le tecniche di trasformazione dei materiali, sia le loro prestazioni 'uso. La forza di questi legami è abbastanza diversa e, in genere, le forze adesive sono nettamente inferiori a quelle coesive, derivando principalmente da forze di van der Waals.

2.1.4 Organizzazione molecolare

Anche la disposizione molecolare (organizzazione nello spazio della materia) costituisce un criterio oggettivo di classificazione dei materiali. Se le molecole sono in successione ordinata, periodica e simmetrica (come nel caso di alcune materie plastiche, dei metalli e in parte della cellulosa), è possibile definire tali materiali cristallini e ne deriverà per loro una maggiore densità e migliori caratteristiche meccaniche; se l'organizzazione molecolare è invece aperiodica, disordinata e casuale (come nel vetro e in alcune materie plastiche) si parlerà di strutture amorfe, caratterizzate in generale da maggiore trasparenza, maggiore inerzia chimica e inferiori caratteristiche meccaniche (figura 2.2).

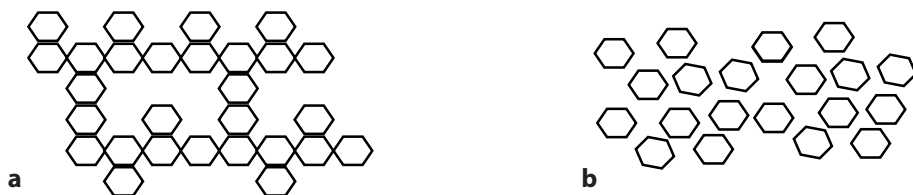


Figura 2.2 Rappresentazione schematica dello stato cristallino (a) e dello stato amorfo (b).

La distinzione tra strutture cristalline e strutture amorfe è particolarmente importante, poiché per numerosi materiali è possibile ottenere in fase di produzione/trasformazione diversi gradi di cristallinità modulando le caratteristiche di organizzazione molecolare e ottenendo così prodotti con prestazioni differenti.

2.2 Proprietà chimiche di interesse per i materiali di packaging

Le proprietà chimiche di maggiore interesse per i materiali che vengono utilizzati nel food packaging possono essere individuate nel loro comportamento all'ossidazione e alla combustione, in quello all'attacco di agenti biologici (tutti di particolare rilievo per le materie plastiche e cellulosiche), nella resistenza alla corrosione (di ovvio interesse per i soli metalli e di cui si tratta nel paragrafo 6.5) e in quella agli agenti aggressivi sia fisici sia chimici, importanti per tutti i materiali, indifferentemente. Di rado a tali proprietà sono associate grandezze facilmente e oggettivamente misurabili e in molti casi si ricorre a procedure di valutazione largamente empiriche o di semplice confronto e in altri si misurano alcune proprietà fisiche le cui variazioni sono correlate alla trasformazione chimica. Le specifiche proprietà chimiche di un materiale di packaging vengono a volte utilizzate per permetterne una corretta identificazione ma, nella maggior parte dei casi, si valutano per testare l'idoneità a un determinato impiego. In particolare, la generica espressione "resistenza chimica" si applica alla capacità di qualsiasi materiale di mantenere le proprie fondamentali caratteristiche quando esposto a sostanze o ambienti potenzialmente aggressivi. Si parla, per esempio, di *etching* e *leaching* per indicare la rimozione di materia per dissoluzione, abrasione e altri fenomeni chimico/fisici, mentre il termine *weathering* indica la decomposizione chimica (ma anche fisica) di un materiale esposto ad agenti atmosferici. Queste proprietà dei materiali vengono

Tabella 2.2 Valutazione di alcune proprietà dei materiali attraverso metodiche ASTM

Standard	Descrizione
ASTM D543	Test di resistenza chimica (valutazione degli effetti dell'esposizione controllata ad agenti chimici su peso, dimensioni e aspetto)
ASTM D570	Assorbimento di acqua (valutazione dell'incremento di peso in seguito a immersione in acqua)
ASTM D3929	Valutazione dello stress cracking (resistenza agli aggressivi chimici e all'ambiente)
ASTM F119	Penetrazione del grasso (misura del tempo di penetrazione dell'olio sotto pressione)

in genere misurate in condizioni controllate di esposizione, nel corso dei cosiddetti “test di abuso”, eseguiti secondo metodiche standard (tabella 2.2).

Di particolare rilievo in campo alimentare sono le proprietà chimiche indicate come “resistenza agli oli e ai grassi”, “resistenza allo *stress cracking*” e tutte quelle che descrivono fenomeni di natura biologica, che hanno rilevanza per l’integrità della struttura chimica.

2.2.1 Resistenza agli oli e ai grassi

L’affinità per le sostanze grasse di un determinato materiale può, ovviamente, rappresentare un serio ostacolo al suo impiego come materiale di imballaggio. Penetrando nel materiale, l’olio o il grasso – a causa della loro natura lipofila – possono danneggiare la stampa, provocare il distacco di materiali accoppiati o semplicemente rendere poco gradevole l’immagine del prodotto. Problemi di questa natura sono tipici di materiali di imballaggio flessibili, di natura sia cellulosa sia plastica, e infatti sono stati sviluppati rivestimenti e trattamenti per evitarli o limitarli.

Per misurare la resistenza alle sostanze grasse, proprietà che dipende dalla natura chimica di un materiale, si valuta la velocità della diffusione lipidica in una prova condotta in condizioni standardizzate, come quelle previste dalla norma ASTM F119. Un lato di un provino di materiale viene esposto al contatto con un tessuto di cotone imbevuto d’olio tenuto premuto da un peso (50 g); sulla superficie opposta del materiale viene posto un vetro smerigliato e il tutto è condizionato a 40 o 60 °C; periodicamente si osserva il vetro smerigliato, che diventa trasparente nel punto raggiunto dall’olio quando questo ha attraversato lo spessore del provino (figura 2.3). Il tempo di diffusione dell’olio in queste condizioni consente una quantificazione della resistenza del materiale; la tabella 2.3 riporta i tempi di diffusione dell’olio a 60 °C per alcuni materiali di packaging.

Per i materiali cellulorici, in particolare, si utilizza anche un test di oleorepellenza, indicato come Kit Test; prevede l’utilizzo di una serie di 16 miscele di tre idrocarburi non polari rappresentati da olio di ricino, toluene ed eptano, in rapporti diversi tra loro. Ogni miscela è espressa da un numero compreso tra 1 e 16, definito “grado”: i valori più alti corrispon-

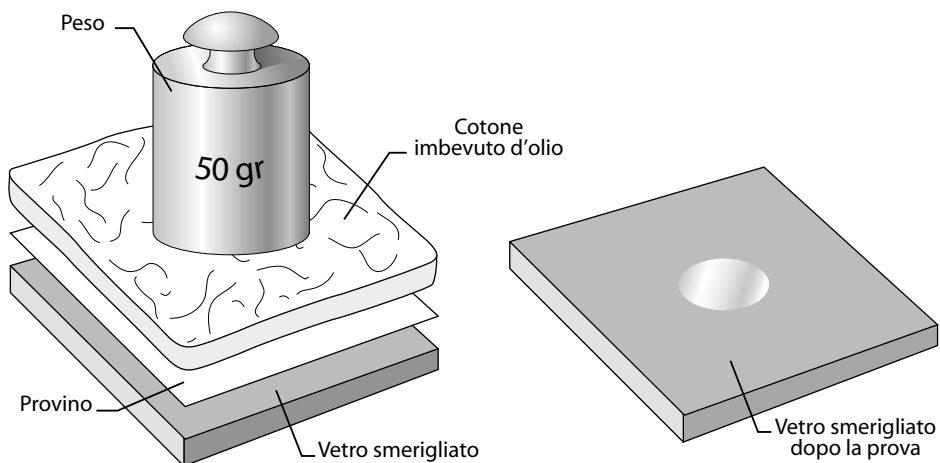


Figura 2.3 Rappresentazione schematica del test di resistenza agli oli.

Tabella 2.3 Tempo di diffusione a 60 °C dell'olio in diversi materiali di packaging

Materiale	Tempo di diffusione (ore)
Polietilene a bassa densità 25 µm	0,9-2,0
Polietilene a bassa densità 50 µm	1,5-3,0
Polipropilene 20 µm	168-356
Carta Kraft 25 µm	27-30

dono a miscele a maggior contenuto di solventi. La tabella 2.4 riporta le miscele utilizzate per la realizzazione del test. La prova viene svolta a temperatura ambiente, ponendo diverse gocce delle varie miscele sulla superficie del provino, lasciandole 15 secondi e valutando l'aspetto del materiale (alone, macchia, nessuna modifica) dopo rimozione della miscela con carta assorbente. Si assegna quindi al campione il grado più elevato della soluzione che non altera la superficie. Quanto più elevato è il grado assegnato al materiale, tanto maggiore è la sua oleorepellenza. Per verificare l'omogeneità del trattamento è necessario effettuare l'analisi in diverse zone del provino.

Tabella 2.4 Miscele utilizzate per il Kit Test e grado associato a ciascuna di esse

Grado	Olio di ricino (% vol)	Toluene (% vol)	n-Eptano (% vol)
1	100	0	0
2	90	5	5
3	80	10	10
4	70	15	15
5	60	20	20
6	50	25	25
7	40	30	30
8	30	35	35
9	20	40	40
10	10	45	45
11	0	50	50
12	0	45	55
13	0	35	65
14	0	25	75
15	0	15	85
16	0	0	100

2.2.2 Resistenza allo stress cracking

Per saggiare la resistenza dei materiali di imballaggio all'azione degli aggressivi chimici e dell'ambiente (luce, temperatura, umidità) vengono condotte numerose prove diverse. Queste sono di norma realizzate estremizzando le condizioni di esposizione o di contatto (*distribution abuse testing*). Una prova piuttosto comune per gli imballaggi rigidi o semirigidi di materia plastica valuta la possibilità che, sotto l'azione di sostanze tensioattive, si formino incrinature per tensioni interne (ESC, *environmental stress cracking*). Nei manufatti di pla-

stica questi difetti meccanici possono essere causati sia dai detergenti e dai lubrificanti utilizzati sulle linee di confezionamento e riempimento, sia da determinati costituenti degli alimenti, come acidi grassi, alcoli e alcuni oli essenziali. In un test sviluppato per il polietilene, per esempio, alcuni provini del materiale in esame, precedentemente scalfiti in modo controllato, vengono fissati in una guida e immersi in una soluzione di tensioattivo (un detergente o altri liquidi organici) a 50 o 100 °C, misurando la percentuale di campioni che vanno incontro a rottura per diffusione del tensioattivo nel materiale in un tempo definito (almeno 48 ore). In alternativa, i provini vengono sottoposti a un test di resistenza meccanica dopo essere stati condizionati in presenza dell'aggressivo chimico, verificando un'eventuale riduzione della resistenza meccanica.

2.2.3 Comportamento alla combustione

Molti materiali di packaging, in diverse circostanze, possono andare incontro a fenomeni ossidoriduttivi. L'ossidazione più rapida e distruttiva è la combustione. Mediante la combustione si possono inoltre considerare aspetti diversi (quali sviluppo di fumi, odori e colori particolari), che permettono, per esempio, di distinguere un polimero clorurato da una poliolefina (tabella 2.5).

Tabella 2.5 Comportamento alla combustione di alcuni polimeri

Polimero	Tipo e colore della fiamma	Odore e reazione dei fumi
Polietilene, polipropilene	Gialla con cuore blu	Fumi deboli, tipo paraffina
Polivinilcloruro	Gialla luminosa	Fuliginoso, odore di acido cloridrico
Poliammidi	Bluastro con orlo giallo, luminosa	Fumi bianchi, odore di corno bruciato
Poliestere	Luminosa	Dolciastro, irritante
Polistirene	Gialla, luminosa	Debole odore di stirolo
Polimetilmetacrilato	Luminosa	Odore di frutta

2.2.4 Biodegradabilità, biodeterioramento, biotossicità, formazione di biofilm

2.2.4.1 Biodegradabilità e biodeterioramento

La biodegradazione completa (detta talvolta mineralizzazione) si ha quando un materiale viene degradato fino ad anidride carbonica, acqua, sali minerali e, eventualmente, altre molecole di basso peso molecolare (C_4H_{10} , NH_3 , H_2 ecc.), a opera di microrganismi o comunque per azione di un agente biologico; tale degradazione deve avvenire, o almeno completarsi, in condizioni di aerobiosi. Secondo la norma EN 13432, sono considerati compostabili i materiali che "biodegradano" in specifici test (EN 14046 o ISO 14855) per almeno il 90% in 6 mesi.

Il termine biodeterioramento indica invece qualsiasi modificazione (sia strutturale sia estetica) apportata da agenti biologici che renda il materiale inadeguato all'uso per il quale è destinato. Quest'ultimo fenomeno, noto da tempo, è da sempre contrastato anche con l'uso di additivi o coadiuvanti e può interessare quasi tutti i materiali: quelli cellulosici, le plastiche e perfino, in alcune situazioni, i metalli.

La biodegradabilità dei materiali di confezionamento è, al contrario, una questione che ha assunto rilevanza solo in tempi più recenti; riguarda i materiali di natura cellulosa e plastica ed è considerata positivamente, a volte decisamente auspicata come una possibile soluzione al problema dello smaltimento degli imballaggi usati. In ogni caso sia la biodeteriorabilità sia la biodegradazione sono strettamente legate alle caratteristiche dei materiali.

In linea teorica e generale, tutti i materiali biosintetici (come quelli cellulolici) sono biodeteriorabili e biodegradabili, mentre quelli ottenuti per sintesi chimica (come quelli plastici) non lo sono, o meglio, mostrano la cosiddetta recalcitranza all'attacco microbico. Le cause di tale inerzia biochimica sono da ricercare nell'elevato peso molecolare (il massimo peso molecolare metabolizzabile da organismi viventi è dell'ordine dei 500 Da), nella presenza di gruppi terminali non idonei all'attacco enzimatico, nell'idrofobicità che impedisce l'assorbimento di acqua (e quindi l'instaurarsi delle condizioni di umidità relativa indispensabili per le specie microbiche), nell'impedimento sterico dovuto alle ramificazioni delle macromolecole e, infine, nella presenza di additivi o componenti minori con caratteristiche antimicrobiche o biocide. Praticamente tutte queste concause si riscontrano nei polimeri di sintesi (pesi molecolari dell'ordine di 100 000 Da), ma possono riguardare, di fatto, anche molti materiali cellulolici. Pertanto, le vie intraprese per indurre degradabilità nei materiali di sintesi corrispondono a modificazioni della struttura molecolare che facilitino l'attacco microbico.

La valutazione accurata della biodegradabilità e della biodeteriorabilità di un materiale è diventata, nei tempi più recenti, un'esigenza importante soprattutto per poter confrontare, in termini oggettivi, l'ecocompatibilità dei differenti imballaggi. Esistono numerose procedure, alcune standardizzate in norme ufficiali, ma tutte caratterizzate da un certo grado di empirismo.

- *Metodi ponderali.* Viene valutata la diminuzione percentuale del peso di provini sottoposti all'azione di colture microbiche o, più semplicemente, a interramento (*burial test*) o al condizionamento in specifici ambienti. Per l'elevata variabilità delle condizioni adottate, i risultati ottenuti con questi sistemi sono difficilmente confrontabili.
- *Prove di crescita microbica.* La degradabilità viene misurata in termini di accrescimento di una coltura microbica alla quale viene fornita, come unica fonte di carbonio, un provino del materiale in esame.
- *Metodi di osservazione diretta.* In queste procedure l'osservazione a occhio nudo o microscopica consentono di evidenziare l'estensione e l'intensità dello sviluppo di muffe oppure il grado di deterioramento del materiale posto in condizioni standardizzate.
- *Metodi respirometrici.* Sono diversi e numerosi e si basano sul fatto che, se i microrganismi riescono a utilizzare per il loro metabolismo il materiale da valutare, si può registrare con metodi polarografici (BOD, *biological oxygen demand*) o manometrici (tecnica del respirometro di Warburg) l'ossigeno consumato e/o l'anidride carbonica prodotta.

2.2.4.2 Caratteristiche antimicrobiche

Alcuni materiali (come l'argento) possiedono caratteristiche antimicrobiche intrinseche, legate alla loro composizione e natura; altri possono manifestare tali caratteristiche in seguito a specifici trattamenti fisici (per esempio, l'irraggiamento UV di alcune poliammidi). I materiali con azione antimicrobica possono essere utilizzati per il contatto diretto con gli alimenti o come ingredienti o rivestimenti per impartire funzioni antimicrobiche a materiali più convenzionali.

Un esempio è fornito dal chitosano, un polimero cationico che si ottiene per parziale deacilazione della chitina presente nell'esoscheletro di crostacei e insetti (figura 2.4).

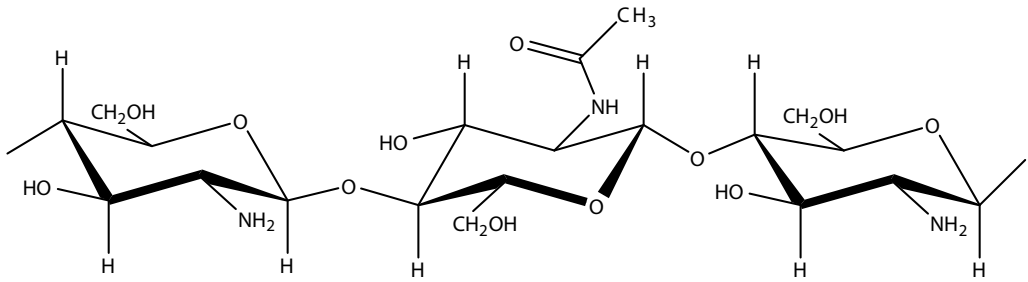


Figura 2.4 Struttura chimica del chitosano parzialmente deacetilato.

I film di chitosano presentano in superficie e rivolti verso l'esterno gruppi amminici carichi positivamente che, promuovendo l'interazione con le parti della membrana cellulare cariche negativamente, favoriscono l'adesione cellulare al film, la perdita di materiale intracellulare e la conseguente morte dei microrganismi.

2.2.4.3 Formazione di biofilm

Durante il processo di biodeterioramento la maggior parte dei microrganismi possiede una spiccata tendenza ad aderire ai diversi materiali formando un biofilm, ossia una comunità ben strutturata di batteri racchiusa in una matrice polimerica di origine microbica, assorbente e porosa, che non contiene solo cellule microbiche ma ingloba sostanze differenti. Pur variando nelle proprietà chimiche e fisiche, i biofilm sono composti principalmente da polisaccaridi, proteine e acidi nucleici, che possono essere associati a ioni metallo, cationi bivalenti e altre macromolecole.

Lo sviluppo di un biofilm avviene in fasi successive, che si ripetono ciclicamente fin quando non interviene qualche evento che porta all'eliminazione completa della pellicola che circonda il biofilm (figura 2.5):

1. adesione dei batteri alla superficie;
2. colonizzazione (proliferazione, maturazione) della superficie da parte dei microrganismi;
3. distacco ciclico di parte delle colonie con liberazione di frammenti che possono portare alla colonizzazione di altre superfici.

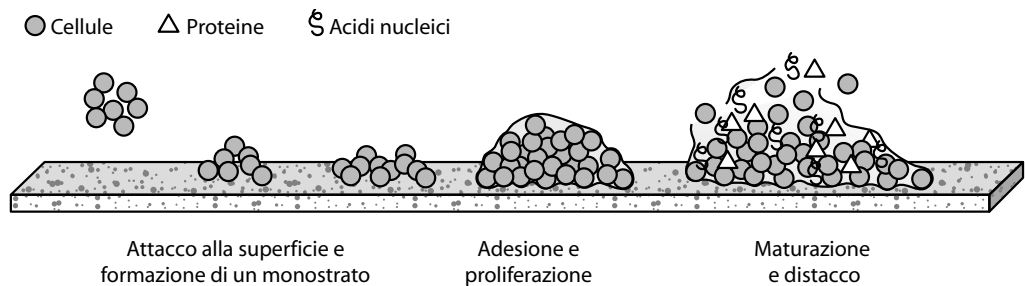


Figura 2.5 Rappresentazione schematica della formazione e del distacco di biofilm.

Le superfici potenzialmente interessate a questo tipo di attacco microbico, e quindi alla produzione di biofilm, devono trovarsi in ambiente umido o liquido e avere particolari caratteristiche in termini di ruvidità, idrofobicità, cariche elettrostatiche e tensione superficiale, in modo da favorire la mobilità e l'adesione delle cellule batteriche. Su queste superfici devono inoltre essere presenti sostanze nutrienti sufficienti per sostenere la sopravvivenza e la moltiplicazione di colonie batteriche. I biofilm sono attivi fino a profondità di 300-400 μm e sono sede di processi chimici e fisici esclusivi.

La chimica interfacciale di un biofilm in termini di pH, ossigeno e altre specie chimiche disciolte è piuttosto diversa da quella del mezzo. Tale diversità contribuisce all'aumento di resistenza che le cellule microbiche inglobate nella matrice organica e adese alle superfici di lavoro fanno registrare rispetto alle cellule consimili libere di nuotare nell'ambiente esterno (definite anche cellule planctoniche).

Nell'industria alimentare i materiali soggetti alla formazione di biofilm nelle condizioni sopra descritte sono diversi: le plastiche (PVC, HDPE, PET ecc.) utilizzate per le tubature, le guarnizioni e i nastri trasportatori, ma anche materiali come l'acciaio inox utilizzato soprattutto negli impianti di lavorazione, ossia in ambienti dove non mancano sostanze organiche nutrienti e acqua.

Alcuni studi evidenziano che, in specifiche condizioni, l'attacco da parte di biofilm prodotti da alghe o da alcuni microrganismi nei confronti di materiali plastici (come poliolefine, polistirene ecc.) può contribuire a una parziale degradazione, e quindi rottura delle catene polimeriche, che può essere incrementata ulteriormente per effetto di luce e calore.

Gli esercizi di autovalutazione di questo capitolo si trovano a pagina 491

Bibliografia

- ASTM (2007) *ASTM Packaging Standards and Related Technical Material: 7th Edition*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard D3929-03 (2003) Standard Test Method for Evaluating Stress Cracking of Plastics by Adhesives Using the Bent-Beam Method. ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D3929-03.
- ASTM Standard D570-98 (2005) Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D0570-98R05.
- ASTM Standard D543-06 (2006) Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents. ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D0543-06.
- ASTM Standard F119-82 (2008) Standard Test Method for Rate of Grease Penetration of Flexible Barrier Materials (Rapid Method). ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/F0119-82R08.
- Atkins PW (1989) *Chimica Fisica*. Zanichelli, Bologna, pp. 4-18.
- Giaccone V (2006) *Biofilm microbici e igiene degli alimenti* (http://www.ausl.fo.it/Portals/0/Eventi/2007/BiofilmMicrobici_21-09-07.pdf).
- Hernandez RJ, Selke SEM, Culter JD (2000) *Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications and Regulations*. Hanser Publications, Cincinnati, OH, pp.7-19.
- Lee DS, Yam KL, Piergiovanni L (2008) *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 19-41.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (2002) Resistance Test for Paper and Paperboard. Test Method Tappi 559 CM02.