

LEZIONE II- BIOLOGIA ANIMALE E VEGETALE

2.2 L'importanza dell'acqua

Riprendiamo il discorso relativo alla capacità che ha l'acqua di solubilizzare le sostanze polari. Abbiamo preso come esempio prototipico il cloruro di sodio, che esiste in forma dissociata di ioni sodio positivi (Na^+) e ioni cloruro negativi (Cl^-).

Questa carica permette alle molecole di acqua di solubilizzare le sostanze polari e ancor meglio quelle che portano cariche nette come gli ioni sodio e gli ioni cloruro. Ciò che invece l'acqua non può solubilizzare sono le sostanze (si tratta di sostanze quindi **apolari**, che di fatto non hanno un dipolo o comunque non abbastanza forte.

I composti apolari sono dunque i grassi, quelli immiscibili in acqua e che in acqua formano una **emulsione**, cioè se dibattuti formano delle goccioline (come le forma l'olio in acqua) che ben presto si aggregano fra di loro ma quindi le due fasi, acquosa e oleosa, ben presto si separano.

La possibilità che esiste per un composto apolare di essere in qualche modo integrato in un ambiente acquoso è quello di formare delle **micelle**: questo è possibile soltanto se il composto non è soltanto apolare, ma quantomeno **anfipatico**.

Anfipatico significa che ha una porzione apolare, dunque **lipofila**, che è affine ai grassi, e una polare, quindi **idrofila**, affine all'acqua.

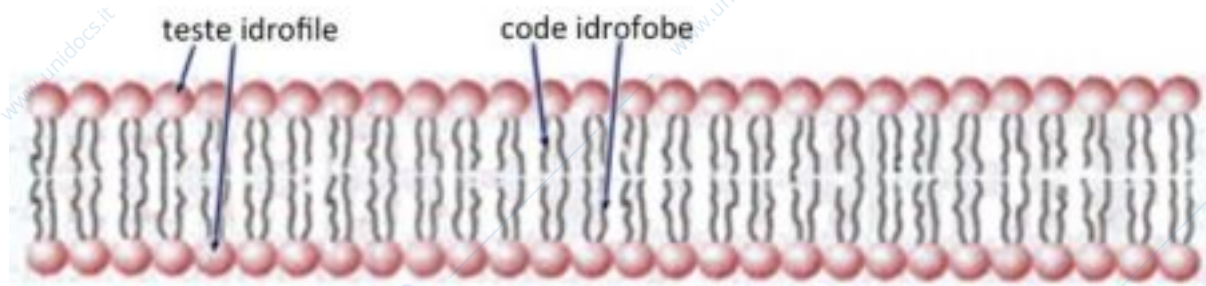
Queste molecole possono interagire tra di loro: le code lipofile possono distribuirsi in uno spazio interno e le teste idrofile formare una calotta esterna a contatto con il mezzo acquoso.

È così che queste sostanze anfipatiche possono creare una micella (quindi una struttura tridimensionale, una sorta di grande goccia) che al suo interno custodisce altre molecole di natura idrofobica.

Dunque queste strutture micellari, che ritroviamo ad esempio nel latte che contiene una buona quota di sostanza grassa, sono la via per mantenere in **forma simil-solubilizzata** sostanze grasse in un ambiente acquoso, per rendere quindi possibile un qualche contatto tra un mezzo idrofilo e una sostanza lipofila.

Queste micelle sono minuscole, molto più piccole di una cellula, ma secondo il **criterio di distribuzione delle sostanze anfipatiche** che esiste nelle micelle, le protocellule hanno costruito una struttura membranaria che permette a sostanze idrofobiche di essere inglobate in una struttura di contatto con l'acqua: si tratta della membrana.

In questo schema viene rappresentato, con un disegno tipico, una struttura di membrana plasmatica in cui le sostanze anfipatiche di cui abbiamo parlato si dispongono in modo caratteristico, capace di prendere contatto con l'acqua grazie alle teste polari (interagiscono bene con il mezzo acquoso) e di prendere contatto con le code idrofobiche in modo capovolto di uno strato rispetto all'altro.



Doppio strato fosfolipidico

Questa è una struttura solitamente immaginabile come in un piano, mentre questa è in sezione.

Ma se si immagina di osservarla guardando sopra le teste polari, si potrebbe “vedere” un tappeto di teste polari che sono affiancate tra di loro, sotto di esse uno strato di code idrofobiche e sotto ancora un altro strato di teste polari. Questo è dunque un vero e proprio tappeto, o una calotta, che può avvolgere la cellula e delimitarla in modo molto efficiente.

Vedremo poi dettagliatamente cosa significa “delimitare” e “circoscrivere” la cellula e quali sono le funzioni della membrana; per ora ci limitiamo all’aspetto più strettamente chimico (quindi di sostanze con un’ampia componente lipofila, che grazie a una testa polare può creare questo strato di confine).

Queste sostanze **anfipatiche**, che sono molto rappresentate nelle membrane cellulari, sono dei **fosfolipidi**, (termine generico in questo caso, in quanto vedremo che esistono più tipi di fosfolipidi); uno tipico qui rappresentato è la **fosfatidil-etanolamina**.

La struttura ricorrente nei fosfolipidi è quella di una molecola di glicerolo (formata da tre atomi di carbonio, ciascuno dei quali è legato a un ossidrile OH), e il gruppo OH. Questa, reagendo con altre sostanze, fa da ponte e lega due molecole di acidi grassi, un fosfato e un’altra molecola polare.

Quindi nella struttura del fosfolipide possiamo rintracciare il glicerolo e dei sostituenti, anche di dimensioni consistenti, quali ad esempio questi acidi grassi.

Le due catene di acidi grassi sono solitamente rappresentate a zig-zag perché i carboni di queste code alifatiche sono carboni con orbitali ibridi sp^3 e quindi hanno una struttura tetraedrica, rendendo non più queste code delle porzioni lineari, ma dei tetraedri incastrati gli uni con gli altri.

I fosfolipidi servono dunque a formare un doppio strato lipidico che permette di creare una barriera della cellula nei confronti dell’ambiente esterno, perché la cellula deve essere contenuta, delimitata, deve mantenere la sua integrità.

E, poiché la cellula è immersa in un ambiente acquoso, l’unico modo per creare un confine è avere una barriera di tipo lipofilo nella sua compagine interna, ma polare nello strato che si affaccia immediatamente sull’ambiente extracellulare e sull’ambiente intracellulare, in modo che sia garantita una stabilità chimica in termini di interazioni molecolari.

Se i lipidi si trovassero nella porzione esterna, la cellula non potrebbe interagire con l’acqua: la cellula è immersa nell’acqua e interagisce al tempo stesso con essa, tutte le molecole che sono solubilizzate nel mezzo acquoso esterno devono potersi muovere

liberamente nell'acqua, così come la cellula, e questo è possibile soltanto se ci sono delle interazioni chimiche che stabilizzano la cellula e le altre molecole.

Dunque potremmo dire che la membrana costituisce una separazione ma al tempo stesso un modo affinché la cellula sia in contatto e in interazione con l'ambiente acquoso esterno e interno; viceversa se invece le cellule avessero tutte uno strato lipofilo all'esterno, invece di interagire con il mezzo acquoso si appiccicherebbero l'una con l'altra, perché le code lipofile ipoteticamente sporgenti si aggredirebbero tra di loro come le goccioline di olio disperse nell'acqua.

Avere delle teste polari all'esterno garantisce alle cellule di interagire con l'acqua e al tempo stesso di essere solubilizzate come masse complete, compatte, cellulari; code lipofile all'esterno porterebbero invece all'aggregarsi di cellula con cellula e mancherebbe l'interazione con l'ambiente acquoso, che è invece fondamentale.

Questo perché nell'acqua dell'ambiente extracellulare e intracellulare sono sciolti ioni, nutrienti come il glucosio e altre piccole molecole gassose come ossigeno e CO_2 che pure possono essere solubilizzate in acqua.

L'ambiente extracellulare è acquoso, questo significa che ci sono tantissime molecole di acqua, ma non è solo acqua, perché tra le numericamente prevalenti molecole di acqua ci sono anche ioni (come cloruro, potassio e sodio), oppure piccole molecole e molecole anche più grandi (come glucosio e saccarosio), e addirittura macromolecole proteiche, che sono in equilibrio con l'ambiente acquoso proprio perché tutte riescono a interagire con le molecole di acqua.

In questo ambiente extracellulare, in cui vi è una predominanza di molecole d'acqua ma anche la presenza di altre, è possibile che queste molecole lascino l'ambiente extracellulare e penetrino dentro la cellula con meccanismi diversi, che dipendono strettamente dalla natura chimica delle varie sostanze disciolte nell'ambiente extracellulare:

- **ioni che portano carica netta** (come il cloruro, il potassio, il sodio e tanti altri) di per sé non riescono ad attraversare il doppio strato fosfolipidico perché la compagine interna della membrana è una barriera chimica per loro: la carica netta che essi portano non ha la possibilità di interagire con la porzione lipofila, c'è una repulsione, quindi "rimbalzano", da sole queste sostanze non possono passare; vedremo più avanti che passeranno con un aiuto.
- Anche **sostanze polari** più grandi, che non portano carica netta ma che comunque hanno dei gruppi polari, vengono respinte ma possono passare con un aiuto, che vedremo di che tipo sarà. Nel doppio strato fosfolipidico comunque hanno, seppur piccola, una maggiore possibilità di progressione rispetto a quelle che portano carica netta.
- Altre **molecole piccole, polari ma prive di carica**, riescono a sgusciare, grazie alle loro ridottissime dimensioni, tra le code degli acidi grassi, riuscendo ad attraversare la membrana: queste sono molecole come l'**acqua** e l'**etanolo**.
- Le piccolissime molecole di ossigeno e di CO_2 , che invece sono **apolari**, riescono a insinuarsi molto meglio tra le code di acidi grassi.

La membrana plasmatica non è costituita solo da fosfolipidi: sono abbondanti anche le proteine di membrana, innestate nel doppio strato fosfolipidico.

Le proteine di membrana sono dei polimeri di amminoacidi. All'interno della cellula troviamo molte altre strutture circondate da membrane, come il nucleo, i mitocondri, i cloroplasti, il grande complesso di endomembrane.

Allo stesso modo, troviamo anche molte altre macromolecole che sono polimeri lineari, come gli acidi nucleici, contenuti nel nucleo, ovvero **DNA e RNA**, che molto abbondanti soprattutto nelle cellule vegetali sono i polimeri degli zuccheri (come la cellulosa che costituisce la parete cellulare delle cellule vegetali).

Queste tre macromolecole (polisaccaridi, proteine e acidi nucleici) sono le tre macromolecole di cui parleremo più avanti.

I **lipidi**, invece, non sono polimeri ottenuti per assemblaggio di monomeri, ma sono delle macromolecole biologiche che hanno una grande importanza e delle grandi differenze di tipo costruttivo con le altre macromolecole.

Le macromolecole biologiche che abbiamo citato vengono assemblate a partire da piccole molecole organiche, che a loro volta possono derivare da precursori inorganici.

I polisaccaridi sono il risultato dell'assemblaggio di zuccheri, di monosaccaridi, glucosio e altri.

I lipidi vengono assemblati per mezzo di glicerolo, acidi grassi e steroidi.

Abbiamo poi due importantissime categorie di macromolecole, le **proteine** e gli **acidi nucleici**, rispettivamente ottenuti per assemblaggio di amminoacidi e di nucleotidi, che hanno una caratteristica molto importante e differenziale rispetto alle altre macromolecole, e cioè che **l'ordine dei monomeri che vengono assemblati è critico** perché la macromolecola abbia una certa funzione e non un'altra.

Queste due macromolecole sono dunque dette "**informazionali**" proprio perché a seconda dell'ordine con cui i monomeri vengono assemblati la macromolecola cambia e porta un'informazione diversa.

Nell'assemblaggio dei monomeri deve essere spesa energia, perché si costruisce: è un lavoro che costa energia alla cellula, ed è dunque necessaria energia sotto forma di ATP.

L'energia viene spesa nell'assemblare monomero con monomero, in quanto si esegue una **reazione di condensazione** in cui si perde una molecola di acqua derivante da un OH e da un idrogeno che vengono eliminati dai due monomeri per formare un legame sostitutivo.

La condensazione avviene con una direzionalità, i monomeri non sono mattoncini che indifferentemente possono essere accostati l'uno all'altro, ma la polarità è la caratteristica chimica che guida la direzionalità dell'assemblaggio (oltre ovviamente alla capacità dell'enzima interessato di far reagire nel modo corretto affinché

correttamente si formi il polimero).

La reazione inversa della condensazione è l'**idrolisi**: questi polimeri possono infatti essere demoliti mattoncino dopo mattoncino grazie all'intervento di una molecola d'acqua che spezza il legame tra monomero e monomero (reazione anch'essa catalizzata da un enzima).

Con l'idrolisi si formano dunque nuovamente dei monomeri, di cui uno legherà un OH e un altro un idrogeno della molecola di acqua.

Le molecole che vengono così assemblate hanno la possibilità di **ripiegarsi** su se stesse in virtù della interazione chimica che vari monomeri messi uno di seguito all'altro dettano per il corretto ripiegamento.

È dunque nella struttura chimica della molecola stessa che è insita la modalità di ripiegamento, al punto che una proteina che venga denaturata può distendersi, ma in condizioni di acidità e di temperatura standard può riprendere spontaneamente la sua forma.

Questo è vero in parte, in quanto sicuramente la struttura chimica della molecola condiziona il ripiegamento della macromolecola stessa, ma è anche vero che esistono dei **chaperoni molecolari**, ovvero delle altre proteine che, avvicinandosi alle macromolecole che devono ripiegarsi, aiutano un corretto ripiegamento.

Se dunque pensiamo alla proteina come composto chimico nella sua struttura più intima, per chiunque è immediata la meraviglia di come i gruppi funzionali e i singoli punti della proteina possano comandare il ripiegamento e quindi una struttura che dà alla proteina la possibilità di funzionare come minuscola macchina enzimatica.

Le grandi molecole, le macromolecole proteiche, gli acidi nucleici, i polisaccaridi vengono assemblati monomero dopo monomero, e questo è un modo economico di controllare la costruzione della macromolecola, nel senso che un po' per volta si esegue una grande costruzione, ma anche un modo in cui il sistema cellulare può avere il controllo della località del processo che è in corso, e quindi in caso di errori, soprattutto nel caso degli acidi nucleici, può smontare un assemblaggio non corretto e sostituire il pezzo sbagliato con quello giusto.

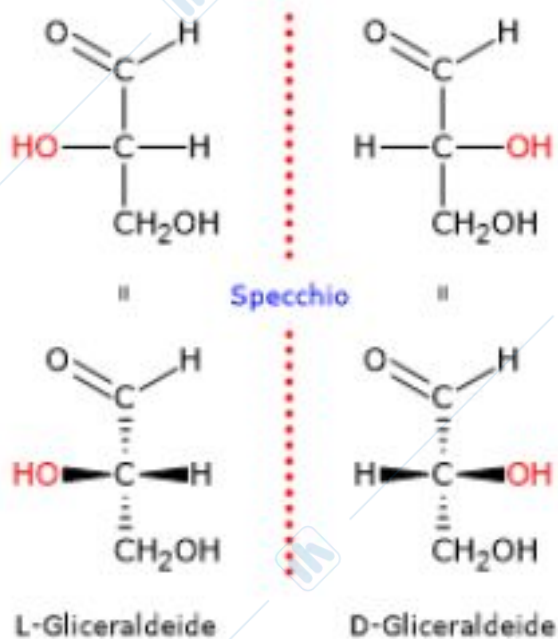
3. LE MACROMOLECOLE

3.1 Le Proteine sono dei polimeri di aminoacidi, bisogna quindi in primis avere in mente com'è fatto un aminoacido: la sua struttura generale è composta da un atomo di carbonio centrale chiamato *alpha* (perchè da questo dipende la numerazione degli altri eventuali carboni presenti nell' aminoacido), e due gruppi fondamentali perché il polimero poi possa esser costruito cioè il gruppo amminico (NH₂) e il gruppo carbossilico (COOH).

Gli altri due legami del legame tetravalente sono sempre impegnati nel legare un idrogeno in tutti gli aminoacidi e un gruppo R che è diverso a seconda di ciascun aminoacido.

Quindi tutti gli aminoacidi hanno in comune la caratteristica di avere i tre gruppi amminico, carbossilico e a idrogeno legati al carbonio alpha e poi c'è il gruppo R specifico di ogni aminoacido.

I nostri aminoacidi sono delle **serie L**, che fa riferimento alla stereochimica del carbonio alpha che è dunque un **carbonio chirale** (ovvero tetravalente), con un orbitale sp³ e ha un orientamento spaziale dei legami secondo i vertici di un tetraedro. Dunque si dice chirale anche perché i 4 gruppi che lega sono uno diverso dall'altro. Un aminoacido della **serie D** è un aminoacido speculare ed è diverso per la distribuzione nello spazio dei gruppi legati al carbonio (questi due aminoacidi L e D non sono sovrapponibili quindi sono **stereoisomeri**).



La struttura a tetraedro ci farà capire la struttura che andrà ad acquistare la macromolecola, la sua disposizione nello spazio.

Le proteine sono le macromolecole che fanno tutto nella cellula e alle proteine dobbiamo la struttura della cellula, ciò che una cellula fa dipende dalle proteine.

Un elenco delle funzioni delle proteine :

- Le proteine possono essere **strutturali**, che partecipano all'intelaiatura del citoscheletro;
- oppure proteine che permettono la **motilità di strutture** intracellulari;
- altre proteine partecipano ai meccanismi di **regolazione** delle funzioni cellulari;
- altre mediano il **trasporto** (come quelle che permettono l'ingresso di ioni nella cellula attraverso la membrana);
- altre proteine sono dei **segnali** (proteine ormonali) o **ricevono il segnale** (recettoriali);
- poi ci sono gli **anticorpi** che sono proteine che hanno funzione di **difesa**;
- altre ancora hanno funzione di **immagazzinamento dell'energia** (e che quindi demolite possono fornire materiale biochimico per il metabolismo cellulare e per la produzione di ATP).

Vediamo come sono fatte le proteine partendo dagli aminoacidi che differiscono tra di loro a causa del residuo R.

Vediamo rappresentati i 20 aminoacidi che compongono le nostre proteine tutti della *serie L*, tutti con una stereochimica ben precisa e non sostituibile. Nello schema si vede il residuo R e si può vedere che per tutti gli aminoacidi il gruppo amminico, carbossilico e a idrogeno sono sempre presenti.

Il residuo R condiziona le caratteristiche chimiche o fisiche degli aminoacidi e quindi della proteina composta dai diversi aminoacidi che vengono assemblati tra loro.

In questo schema gli aminoacidi vengono raggruppati in base alla loro polarità, ci sono gli aminoacidi apolari, idrofobici e tra essi vediamo che sono presenti tutti i residui alifatici (più o meno ramificati), alcuni aminoacidi che hanno residui aromatici, la **prolina** che ha un gruppo R che si richiude a ciclo sul gruppo amminico, l'amminoacido più semplice, la **glicina**, ha un idrogeno (questo l'unico aminoacido che non ha un carbonio chirale perchè questi due idrogeni sono gruppi uguali quindi non è legato a quattro gruppi diversi).

Altro gruppo è il gruppo degli aminoacidi polari ma non carichi, la presenza di gruppi OH come per serina o la treonina, o gruppi SH come nella tirosina che conferisce una polarità all'amminoacido che condiziona anche la forma della proteina. Altri gruppi polari sono i gruppi amminici che ci sono nella asparagina e nella glutammina.

Poi ci sono gli aminoacidi polari cioè quelli che portano carica n ossia che hanno gruppi carbossilici o dei gruppi amminici o ammitici, residui in cui c'è almeno un gruppo che porta o carica positiva o carica negativa. A seconda del pH dell'ambiente questi gruppi carbossilici e amminici potranno essere *protonati o deprotonati*: se è il gruppo carbossilico ad essere deprotonato avremo il gruppo che presenterà **carica netta**, se sarà protonato avremo il gruppo che **non presenterà carica netta**.

Viceversa per la protonazione del gruppo amminico.

Iniziamo a capire che a seconda dell'ambiente acido o basico in cui si trova una proteina la protonazione condiziona la presenza della carica netta su un residuo amminoacidico e questo ha delle ripercussioni sulla struttura che la proteina può assumere.

Consideriamo il polimero della proteina (che sarebbe meglio chiamare polipeptide perché il termine proteina è adatto per la forma matura dell'insieme polipeptidico): polimeri di amminoacidi che sono i monomeri che vengono legati per mezzo di un legame semplice che si stabilisce tra il gruppo carbossilico di un amminoacido e il gruppo amminico di un altro amminoacido, questa è una **reazione di condensazione** perché viene eliminata una molecola di acqua e si stabilisce un legame tra il carbonio e l'azoto, questo si chiama legame peptidico. Il legame che tiene uniti i monomeri dei polipeptidi è il **legame peptidico**.

Qui si è formato un **dimero**, sono due gli amminoacidi legati che hanno libero un gruppo amminico e uno carbossilico all'estremità e anche quando la catena sarà più lunga vedremo che i due estremi saranno editabili proprio in presenza del gruppo amminico e carbossilico libero.

Le proteine possono essere **monomeriche** quando sono costituite da un unico filamento polipeptidico, o **multimeriche** dove più catene sono assemblate l'una con l'altra in una entità macromolecolare che è appunto una proteina multimerica che può essere dimerica, trimerica ecc..

Queste proteine complesse multimeriche possono contenere anche, come nel caso dell'**emoglobina**, dei gruppi non proteici, quindi dei gruppi chimici come il gruppo eme (che contiene un atomo di ferro al suo interno) che prendono il nome di **gruppi prostetici** (componenti aggiuntive della proteina che non hanno caratteristiche chimiche della proteina e quindi non sono polimeri di amminoacidi).

Ma cosa fa ripiegare una proteina in modo da assumere una struttura tipica che poi le permette di avere una funzione biologica? Proprio la possibilità che vengano instaurati dei legami tra i gruppi residui *R*.

I tipi di legame di cui parliamo sono di vario tipo, sono la maggior parte **legami deboli** (cioè legami che non sono covalenti), ad esempio il legame a idrogeno-che può stabilirsi tra un atomo di idrogeno di un gruppo OH e un doppietto *lone pair* (spaiato) di un ossigeno di un gruppo carbossilico-, oppure dei **legami ionici** tra due amminoacidi posizionati in punti diversi (anche molto distanti) e tra due amminoacidi che portano carica netta (un amminoacido che porta carica positiva e un altro che porta carica negativa).

Altri possibili interazioni deboli sono le **forze di Van der Waals** dette anche forze idrofobiche tra residui amminoacidici idrofobici.

Oltre a questi possono formarsi anche **legami forti**, legami covalenti che si instaurano tra due residui vicini, che contengono un gruppo SH libero e che quindi possono legare un altro SH ad un'altra cisteina con l'eliminazione dell'idrogeno. Questi

legami permettono di stabilizzare una struttura tridimensionale.

A seconda della propria sequenza, la proteina può avvolgersi in un certo modo e per codificare la struttura che la proteina assume nello spazio.

Potremmo dire è stato pensato per descrivere 4 livelli di struttura che la proteina può assumere:

- La **struttura primaria** è quella che definisce la sequenza di amminoacidi nel filamento polipeptidico ed è quella che noi possiamo individuare guardando nel modo più ravvicinato possibile la proteina. Atomo per atomo c'è infatti l'alternanza tra il carbonio chirale che lega un idrogeno e un residuo R, l'azoto che lega l'idrogeno e che con il legame peptidico è legato al gruppo carbonilico dell'amminoacido successivo (che ha anche lui il carbonio chirale che lega il residuo RH all'altro gruppo amminico, che a sua volta sarà impegnato in un altro legame peptidico).
- La **struttura secondaria** è quella che potremmo vedere allontanandoci un po' da questa prima osservazione. Con un'osservazione a distanza maggiore potremmo notare l'avvolgimento della struttura secondaria, ad esempio ad alfa elica (che è solo una porzione della struttura terziaria, cioè dell'intera struttura che una proteina globulare può avere): una piccola parte del filamento può avere questo caratteristico ricciolo.
- In realtà il resto del polipeptide è avvolto in modo diverso, da una struttura globulare (ovvero la struttura terziaria), che può ad esempio includere un gruppo prostetico come abbiamo visto per l'emoglobina.
- La **struttura quaternaria** è quella che potremmo vedere allontanandoci ancora un po' di più vedendo qualcosa di più panoramico, ovvero altre subunità che costituiscono una proteina multimerica.

Di seguito si possono trovare informazioni più puntuali sulla struttura primaria: abbiamo detto che è una sequenza di amminoacidi, che possono essere legati tra di loro tra **ponti disolfuro** che si stabiliscono sempre tra una cisteina e l'altra, all'interno di una catena o tra una catena e l'altra; ovviamente capiamo che non c'è uno spazio così ampio tra uno zolfo e l'altro, la catena è ripiegata in modo che le due cisteine si trovino molto vicine tra di loro, tanto da essere a distanza di un legame covalente semplice.

La **secondaria** è un avvolgimento locale del polipeptide che quindi non coinvolge un intero polipeptide che avrà un suo ripiegamento tipico della struttura terziaria, la struttura secondaria può avere due forme denominate **alfa elica** o **beta foglietto**.

L'alfa elica è una porzione in cui la proteina si avvolge a ricciolo come i nastri dei regali che vengono tirati con e forbici e questo avvolgimento è stabilizzato dai legami a idrogeno che si formano tra un idrogeno del loop sottostante e il doppietto dell'ossigeno dell'ansa sovrastante.

Il beta foglietto invece è una ripiegatura locale del polipeptide dovuta alla struttura

tetraedrica del carbonio chirale; se voi notate, vedete che i punti di flesso del beta foglietto coincidono con il punto in cui c'è il carbonio chirale legato al residuo R, all'idrogeno, al gruppo amminico e al gruppo carbossilico. Quindi questo è il legame peptidico nella parte più "piatta" del beta foglietto e nell'alternanza tipica descritta c'è il carbonio chirale peptidico, carbonio chirale, legame peptidico.

Questi beta foglietti formano dei legami a idrogeno come abbiamo visto nell'alfa elica, ma qua è tra un foglietto e l'altro quindi ciò che avviene è che possono poi stabilirsi dei legami o all'interno di una stessa catena che ha delle ripiegature diverse (quindi tra due beta foglietti adiacenti di un unico polipeptide, oppure tra due beta foglietti di due catene polipeptidiche di una struttura tetraedrica). Quindi la possibilità di formare i beta foglietti uniti tra di loro non è soltanto all'interno di un unico polipeptide ma anche tra un polipeptide e un altro nel caso in cui due beta foglietti si trovino ravvicinati.

Questa caratteristica in particolare permette di avere una compattezza di beta foglietti ravvicinati tra di loro.

Queste strutture secondarie vengono rappresentate con dei riccioli che indicano l'alfa elica, o con dei cilindri che simbolicamente rappresentano l'alfa elica e con delle frecce per i beta foglietti.

Il beta foglietto può essere parallelo quando il polipeptide ha un ripiegamento in modo tale che la N terminale sia orientato sempre dalla stessa parte (per N terminale intendo il punto in cui prendendo in esame un amminoacido il punto in cui è presente un gruppo amminico).

Se voi prendete un amminoacido dovreste anche con la mente immaginare che il gruppo carbossilico è da una parte e il gruppo amminico è dall'altra, quindi se troviamo i due gruppi dalla stessa parte si parlerà di **foglietto parallelo**, se invece formano un'ansa allora vedrete che i due gruppi saranno in posizione opposta e allora prenderà il nome di **foglietto antiparallelo**.

La struttura ad alfa-elica (secondaria) la possiamo trovare in cellule in cui le proteine strutturali sono molto abbondanti come ad esempio nelle cellule dei capelli in cui ci sono tante proteine (molecole di cheratina) avvolte ad alfa elica che formano anche degli avvolgimenti multipli in protofilamenti.

Ed ecco che il capello ha una struttura che dipende da questa presenza di proteine strutturali filamentose e fibrose.

La struttura di una proteina fibrosa come ad esempio la fibroina può essere rappresentata in questo modo: ci sono dei foglietti beta antiparalleli, queste anse indicano l'altra porzione del polipeptide che non forma beta foglietti.

La struttura terziaria è un ulteriore livello di organizzazione della proteina: si ha una formazione di una proteina globulare con un'organizzazione tridimensionale che non è ordinata come quella delle proteine fibrose, non è casuale ma dipende dalla disposizione degli amminoacidi nella sequenza del polipeptide, quindi dalla struttura primaria.

La struttura tridimensionale può essere rappresentata con un modello a sfera e bastoncini oppure anche con un mix di anse curvilinee e l'evidenza delle porzioni del filamento in cui sono presenti le strutture secondarie, alpha-elica oppure a beta foglietto, rappresentate nel modo in cui abbiamo visto poco fa.

Le proteine globulari possono avere delle quote relative di alfa elica e beta foglietto e di loop intermedi a seconda del tipo di proteina.

Non è detto che ci sia una certa percentuale fissa, tutto dipende dalla struttura primaria delle proteine che è adatta alla funzione che la proteina dovrà compiere: se è una proteina strutturale (come la cheratina) sarà molto abbondante la struttura ad alfa elica, se è un enzima queste strutture saranno più ridotte e invece prevarranno delle anse che piegano il polipeptide in modo da formare dei siti specifici alle quali può essere fatta corrispondere una funzione specifica.

Queste porzioni sono chiamate **domini** (siti catalitici), delle unità discrete, una parte della proteina nel suo avvolgimento della struttura terziaria, alla sua struttura tridimensionale, al quale può essere correlata una specifica funzione.

L'enzima è l'intera proteina, ha dei domini (detti siti catalitici) paragonabili a delle tasche nelle quali si inserisce il substrato, ovvero la molecola che l'enzima trasforma; la zona della proteina enzimatica che fa catalisi enzimatica è definita dominio, è un'unità funzionale (con specifica funzione), ad esempio quella di modificare il substrato in prodotto.

Altre proteine hanno domini regolatori (che sono anche proteine enzimatiche) che con quella parte del filamento polipeptidico interagiscono con un'altra proteina e che condizionano l'attività.

Ribadiamo ancora una volta dunque che è la conformazione della proteina che è responsabile dell'attività della proteina.

La struttura quaternaria è l'ultimo aspetto, ed è relativo a proteine costituite da più polipeptidi assemblati tra di loro e che interagiscono tramite legami deboli e forti (come i ponti di solfuro).

I legami forti forniscono un esempio lampante: sono formati da due catene pesanti e due catene leggere, tenuti insieme da ponti intercatena, quindi questi collegamenti tra cisteine stabilizzano una specifica conformazione di ogni polipeptide e legano in modo stabile covalente un polipeptide all'altro (una catena pesante con l'altra catena pesante, una catena pesante con una leggera...)

Analogamente si può dire per tante altre proteine che hanno una struttura quaternaria

come l'emoglobina.

Quindi la struttura chimica delle proteine è fondamentale perché la proteina si avvolga in una certa conformazione.

La struttura può prevedere il solo filamento polipeptidico (allora sarà una proteina semplice) oppure più strutture proteiche e non proteiche (come l'emoglobina) dove il *gruppo eme* è un elemento chimico non proteico detto *gruppo prostetico* che forma la proteina emoglobina funzionalmente attiva.

Le **apoproteine** sono le proteine da cui viene rimosso il gruppo prostetico, quindi l'emoglobina senza gruppo eme.

Di denaturazione e rinaturazione abbiamo già parlato prima e abbiamo detto che in particolari condizioni di temperatura e di PH le proteine possono essere denaturate, quindi perdere la loro conformazione, svolte in un filamento disteso che però può autoassemblarsi e quindi riprendere la sua conformazione nativa (processo di rinaturazione questo che si verifica quando la proteina torna nelle condizioni di PH e di temperature adatte).

Le proteine possono essere enzimi quindi modificare dei composti chimici, possono essere proteine di difesa quindi anticorpi che riconoscono gli agenti estranei, possono essere proteine di deposito (ad esempio l'albumina), possono essere una scorta energetica che viene degradata per ricavare energia, possono essere di trasporto (come i *carrier* che permettono l'attraversamento della membrana da parte di sostanze chimiche che altrimenti verrebbero sbarrate dalla componente lipidica stessa), possono essere delle proteine segnali (come le proteine ormonali, ad esempio l'**insulina**, dei veri messaggeri rilasciati da cellule segnalatrici che percorrono una strada lunga attraverso il torrente ematico e raggiungono le cellule bersaglio alle quali portano il segnale).

Le cellule bersaglio a loro volta hanno delle altre proteine che hanno una funzione recettoriale e recepiscono il segnale di tante molecole chimiche ormonali e non ormonali e lo trasmettono all'interno della cellula con delle modalità che vedremo.

L'**actina** e la **miosina** permettono la contrazione muscolare, sono proteine che raccolte formano dei polimeri.

L'actina è di per sé un polimero di monomeri, più unità di actine formano dei filamenti che hanno una struttura e una disposizione particolare adatta al meccanismo di contrazione muscolare dove l'actina interagisce con un'altra molecola proteica, la miosina, anch'essa raccolta in una struttura consona alla contrazione muscolare.

Infine delle proteine strutturali si ricordino la **cheratina** e il **collagene**, che è presente nella matrice extracellulare dei tessuti connettivi.

3.2 ACIDI NUCLEICI

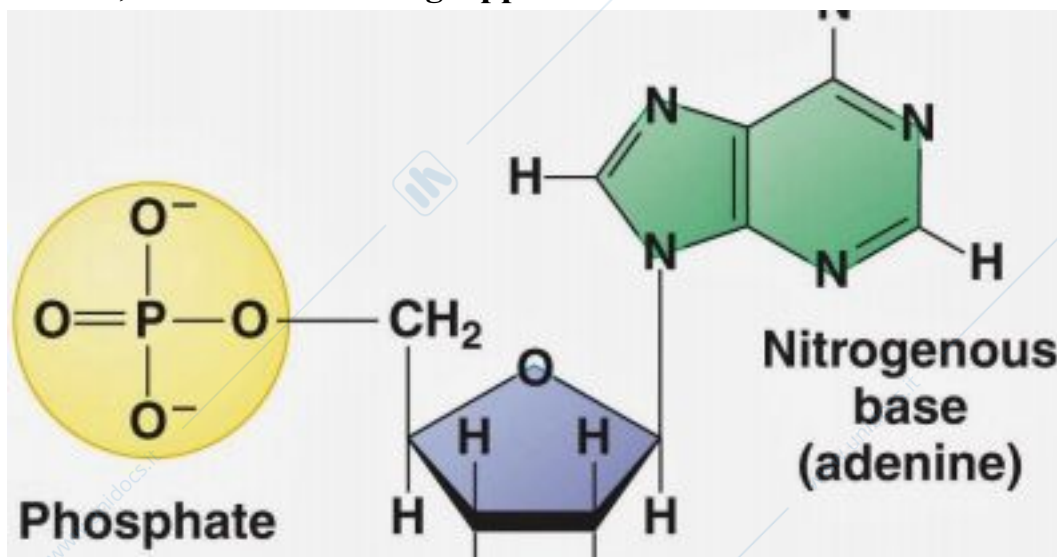
Degli acidi nucleici abbiamo già parlato quando abbiamo trattato il flusso di informazione all'interno della cellula, proprio il DNA è uno degli acidi nucleici, depositario dell'informazione genetica all'interno della cellula. Anche l'RNA è un acido nucleico che viene prodotto anzi trascritto sulla base del DNA.

Sullo stampo del DNA può essere trascritto l'RNA, che nel caso di RNA messaggero (mRNA) può uscire dal nucleo a fare da guida per l'assemblaggio degli aminoacidi nei ribosomi e quindi la sintesi del polipeptidi.

Come le proteine in cui la sequenza degli amminoacidi definisce la struttura e la funzione della proteina, anche gli acidi nucleici sono delle macromolecole informazionali perché la sequenza dei monomeri (nucleotidi) definisce il messaggio che transita da DNA a RNA, da RNA alla sintesi del polipeptide.

Gli acidi nucleici sono formati da unità monomeriche che chiamiamo nucleotidi, e sono le unità base dell'assemblaggio per condensazione che dà l'acido nucleico, RNA o DNA.

I nucleotidi sono costituiti da tre entità chimiche assemblate tra loro: una **base azotata**, uno **zucchero** e un **gruppo fosfato**.



Questa è l'unità monomerica che esiste in quattro forme diverse e viene usata per assemblare DNA e RNA.

Nelle proteine abbiamo visto che i monomeri sono 20 e sono gli amminoacidi, negli acidi nucleici sono 4 diversi tipi di nucleotide per ogni acido nucleico, RNA o DNA. I 4 monomeri sono in realtà differenti a causa della diversa base azotata che incorporano.

Consideriamo il DNA che ha i monomeri costituiti da un gruppo fosfato, da uno zucchero pentoso (dideossiribosio) e 4 possibili basi azotate (adenina, guanina, citosina e timina).

L'RNA è l'altro polimero che le cellule sintetizzano: esso è formato da un gruppo fosfato, da uno zucchero (ribosio) e quattro basi differenti (adenina, guanina,

citosina e uracile).

Quindi le differenze tra DNA e RNA sono da cercare nella struttura dello zucchero pentoso, lo zucchero del DNA non ha il gruppo OH legato al carbonio 2, come invece è presente nel RNA che è un diribosio (quindi c'è l'OH legato al carbonio 2).

L'altra differenza sta nella quarta base (timina o uracile): la differenza tra le due basi non è così grande, risiede nella presenza di un gruppo metile nella timina, e nell'assenza di quest'ultimo nell'uracile che è rimpiazzato con un atomo di idrogeno.

Le basi **adenina** e **guanina** sono dette **puriniche** e sono basi a due anelli, mentre **timina**, **uracile** e **citosina** sono delle **pirimidine** che sono costituite da un singolo anello (analizzando la struttura del DNA questo risulterà importante).

L'assemblaggio dei monomeri in realtà prevede la partecipazione di nucleotidi in trifosfato alla reazione di polimerizzazione; nonostante nel polimero ritroviamo solo questa parte di monomeri, cioè base zucchero e un gruppo fosfato, i reagenti che vengono utilizzati per la costruzione dei polimeri di RNA e DNA sono nucleotidi di-trifosfato.

Il nucleoside è la base legata allo zucchero pentoso: il legame avviene attraverso il carbonio in posizione 1.

I nucleotidi sono molecole costituite da una base, uno zucchero pentoso e uno, due o tre gruppi fosfato. I nucleosidi prendono il nome dalla base.

I reagenti sono nucleotidi trifosfato, i monomeri che vediamo realmente incorporati all'interno del DNA sono formati da base zucchero e gruppo. Questi monomeri sono assemblati in modo tale che si formi un **legame fosfodiesterico** tra lo zucchero e il fosfato.

Il fosfato crea un ponte tra i vari anelli di pentoso e l'alternanza zucchero fosfato forma uno scheletro della struttura degli acidi nucleici sia RNA che DNA, mettendo in evidenza che il DNA ha il pentoso senza il gruppo OH in posizione 2, RNA invece sì.

Il legame tra il gruppo OH del carbonio 5 del ribosio e il primo fosfato si chiama **legame fosfoesterico**, mentre gli altri legami tra gruppi si chiamano **fosfoanidridici**, che sono quelli che quando vengono rotti liberano la più grande quantità di energia necessaria per la sintesi.

I legami che si stabiliscono tra zucchero e gruppo fosfato sono i legami fosfodiesterici che costituiscono i ponti di assemblaggio dei vari monomeri.

Il DNA nella sua struttura tridimensionale prevede l'avvicinamento di due eliche antiparallele in cui i monomeri sono orientati in modo opposto, e queste due strutture laterali permettono che all'interno della doppia elica si avvicinino tra di loro le basi azotate che si combinano sempre in modo che una base purinica si combini con una

base pirimidinica, quindi una base a due anelli si combini con una ad un anello (con l'interazione di tipo AT (adenina - timina) e CG (citosina guanina)).

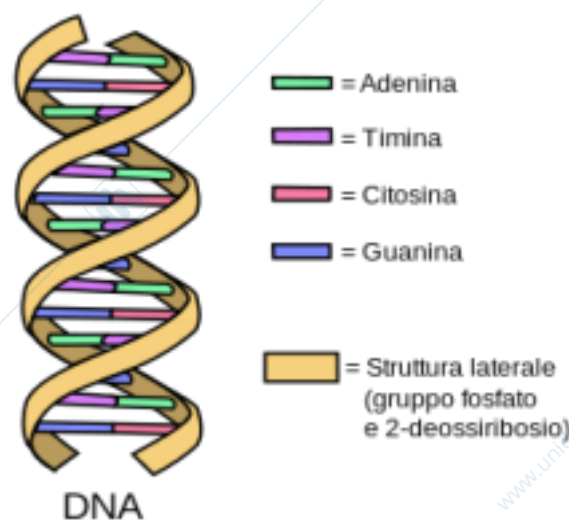
Nei due casi si formano due **legami di idrogeno** sempre tra idrogeno e doppietto di un ossigeno o doppietto di un azoto.

Il legame a idrogeno non si forma tra idrogeno e ossigeno come nell'acqua ma qui tra idrogeno e azoto perché non è l'atomo a condizionare la presenza del legame a idrogeno ma è il doppietto. Quindi si stabilisce tra idrogeno e doppietto presente sia sull'ossigeno che sull'azoto.

Anche in questo caso si può avere denaturazione al calore degli acidi nucleici che verranno distesi e che possono riacquistare la loro forma con condizioni fisiologiche adatte (quindi rinaturarsi).

La struttura della doppia elica del DNA viene spesso assimilata ad una scala a chiocciola, perché i gradini ricordano le interazioni tra basi che sono presenti tra i nastri della doppia elica del DNA.

Un altro acido nucleico è l'**RNA** che ha una struttura a singolo filamento. Questo quindi in teoria non dovrebbe esistere appaiato, ma in realtà, siccome la struttura a



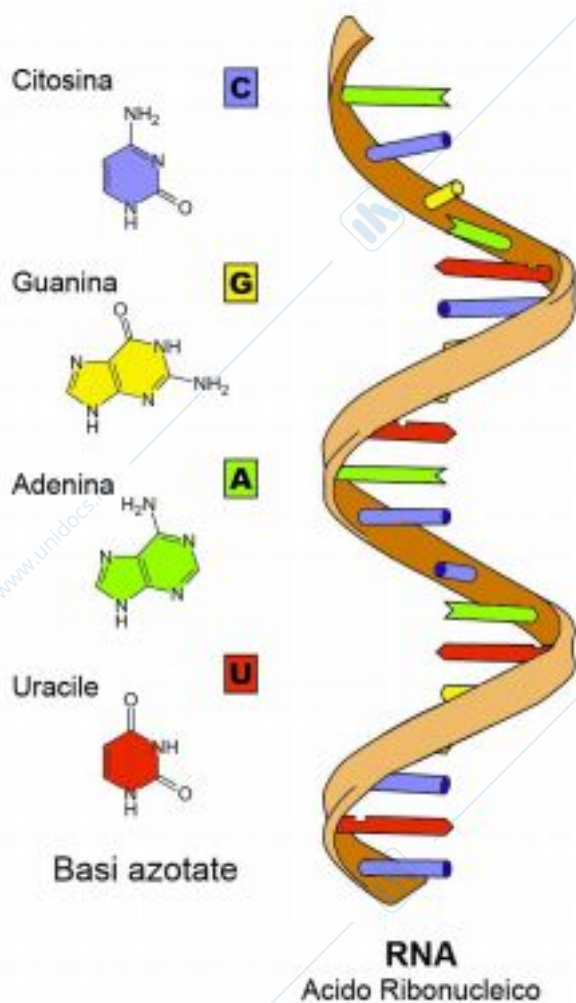
doppia elica è una struttura che stabilizza l'acido nucleico, anche l'RNA che è formato da un solo filamento si ripiega su se stesso formando un'ansa e localmente dei punti a doppia elica.

Questa però non è intercatena ma è intracatena e questo è riscontrabile nel RNA transfer (tRNA) in cui si formano delle zone a doppio filamento e delle anse.

Inoltre è fortemente stabilizzata così che può svolgere al meglio la sua funzione di trasporto di amminoacido al ribosoma per la sintesi proteica. Di tipo di RNA ne esistono diversi; RNA ribosomale (RNA che costituisce i ribosomi) ed è la componente chimico-strutturale dei ribosomi, RNA messaggero che viene trascritto per la sintesi delle proteine.

Ci sono poi dei piccoli RNA citoplasmatici che compongono le ribonucleoproteine, altri RNA che sono necessari per i processi di *splicing*, altri piccoli RNA che

partecipano al processo di maturazione del RNA ribosomiale, e altri micro RNA che sono molto importanti per la regolazione dell'espressione genica.



3.3-3.4 POLISACCARIDI E LIPIDI

Vediamo gli ultimi due gruppi di macromolecole: i **polisaccaridi** sono dei polimeri di zuccheri.

Questi polimeri, a differenza degli altri che abbiamo analizzato finora, non sono molecole informative.

Questo significa cioè che l'ordine in cui vengono assemblati i monomeri non è cruciale per la funzione del polimero, anche perché molti polisaccaridi sono costituiti dall'assemblaggio dello stesso monomero.

Questo per dire che non ci sono monomeri differenti, come abbiamo visto nelle proteine e negli acidi nucleici: in molti polisaccaridi il monomero è sempre lo stesso e quindi è logico che non c'è un'informazione dietro l'assenza di sequenza differenziale.

Quali sono gli zuccheri che possono essere assemblati? Vari di fatto. E siccome parliamo di zuccheri, diamo un piccolo flash alla loro struttura, giusto per sapere che

esistono due grandi classi: gli **aldo zuccheri** e i **cheto zuccheri**.

Gli **aldo zuccheri** sono quelli che hanno il gruppo aldeidico ad una estremità della catena zuccherina e i **cheto zuccheri** hanno il gruppo carbonilico all'interno; queste molecole sono ricche di gruppi OH e questo conferisce una elevata polarità alle molecole saccaridiche.

Il **glucosio** è sicuramente lo zucchero più importante: sia per motivi energetici, sia perché è il derivato importante della fotosintesi clorofilliana. Inoltre è un monomero altamente rappresentato in molti polisaccaridi.

Il **D-glucosio** per motivi di carbonio chirale (di cui abbiamo già discusso), esiste in una forma aperta e in una forma ciclica: queste due forme sono in equilibrio fra loro, quindi la molecola si può chiudere.

Nella sua forma aperta ha un gruppo aldeidico al C1 e quindi un aldo zucchero; nella forma ciclizzata vedete che l'OH del C5 lega il C1, che in questa reazione di ciclizzazione perde la sua forma aldeidica. Quindi l'ossigeno diventa l'OH del Carbonio 1.

Ciò che a noi interessa per descrivere la struttura dei polimeri dei polisaccaridi è come sono orientati nello spazio alcuni gruppi funzionali "caratteristici" e che permettono di descrivere la posizione della molecola sopra e sotto il piano.

Allora per orientarci e per orientare la molecola nello spazio, la convenzione vuole disegnare i monosaccaridi come l'alfa e D glucosio ponendo il C2OH sopra il piano. Dobbiamo dunque immaginare che l'esagono sia disegnato sopra un foglio di carta e che tutti i gruppi che vanno verso l'alto siano orientati sopra il foglio di carta, invece tutti quelli che sono disegnati sotto, sporgono sotto il foglio di carta; allora la posizione alfa è quella sotto il foglio e quella beta sopra.

L'orientamento è allora quello che vuole il C2OH in posizione beta, sopra il foglio di carta. Ciò che identifica invece alfa o beta-D glucosio è la posizione dell'OH legata al Carbonio 1.

I monosaccaridi possono essere legati fra loro e formare disaccaridi. Il legame si forma tra il gruppo OH, legato al carbonio 1, e il carbonio in posizione 4 (ad esempio il maltosio, disaccaride formato da due molecole di alpha-D glucosio) ha un legame glicosidico che è sotto il piano (quindi è un legame alpha-glicosidico).

Diversamente si comporta il lattosio (disaccaride formato da beta D-galattosio e beta D-glucosio) che ha un legame beta-glicosidico (reagisce l'OH in posizione beta e il carbonio in posizione 4).

Quindi di nuovo anche tra i legami di due monosaccaridi troviamo la reazione di condensazione con l'eliminazione di una molecola di acqua.

Se la molecola del monosaccaride ha il carbonio 1 orientato in posizione alfa, il legame è alfa-glicosidico, se è orientato in posizione beta, è beta-glicosidico.

Un altro importantissimo disaccaride è il saccarosio, formato dall'alpha D-glucosio e il beta D-fruttosio.

Quindi il legame glicosidico si forma nei polisaccaridi più complessi, che sono l'assemblaggio di monomeri tutti uguali (amido e glicogeno, polisaccaridi di riserva perché grazie alla demolizione di essi gli organismi animali e vegetali possono trarre energia: gli organismi vegetali costruiscono l'amido e all'occorrenza lo demoliscono, quelli animali costruiscono il glicogeno come polisaccaride di riserva e sono in grado di demolire sia glicogeno che amido per trarre energia).

Altri polisaccaridi ora invece strutturali sono formati da monosaccaridi diversi ad esempio la cellulosa, che è un polimero di glucosio, che forma delle catene lineari che hanno una struttura molto rigida che conferisce solidità ad alcune parti della pianta.

Ci rimane da capire dove sono posizionati questi legami alfa-glicosidici e beta-glicosidici. I legami alfa-glicosidici sono presenti in amido e glicogeno, che sono i due polisaccaridi di riserva.

La differenza fra i due è che l'amido può esistere in forme non ramificata (amilosio), o ramificata (amilopectina), invece il glicogeno esiste solo in forma ramificata.

Mentre nelle catene sia principali o ramificate i legami sono sempre i tipo alpha 1,4 (cioè tra il carbonio 1 e 4 di due monosaccaridi adiacenti), nei punti di ramificazione deve esserci la disponibilità di un altro carbonio per attaccare una catena laterale: il legame non può essere quindi alfa-1,4-glicosidico perché è già impegnato, ma sarà alfa-1,6-glicosidico.

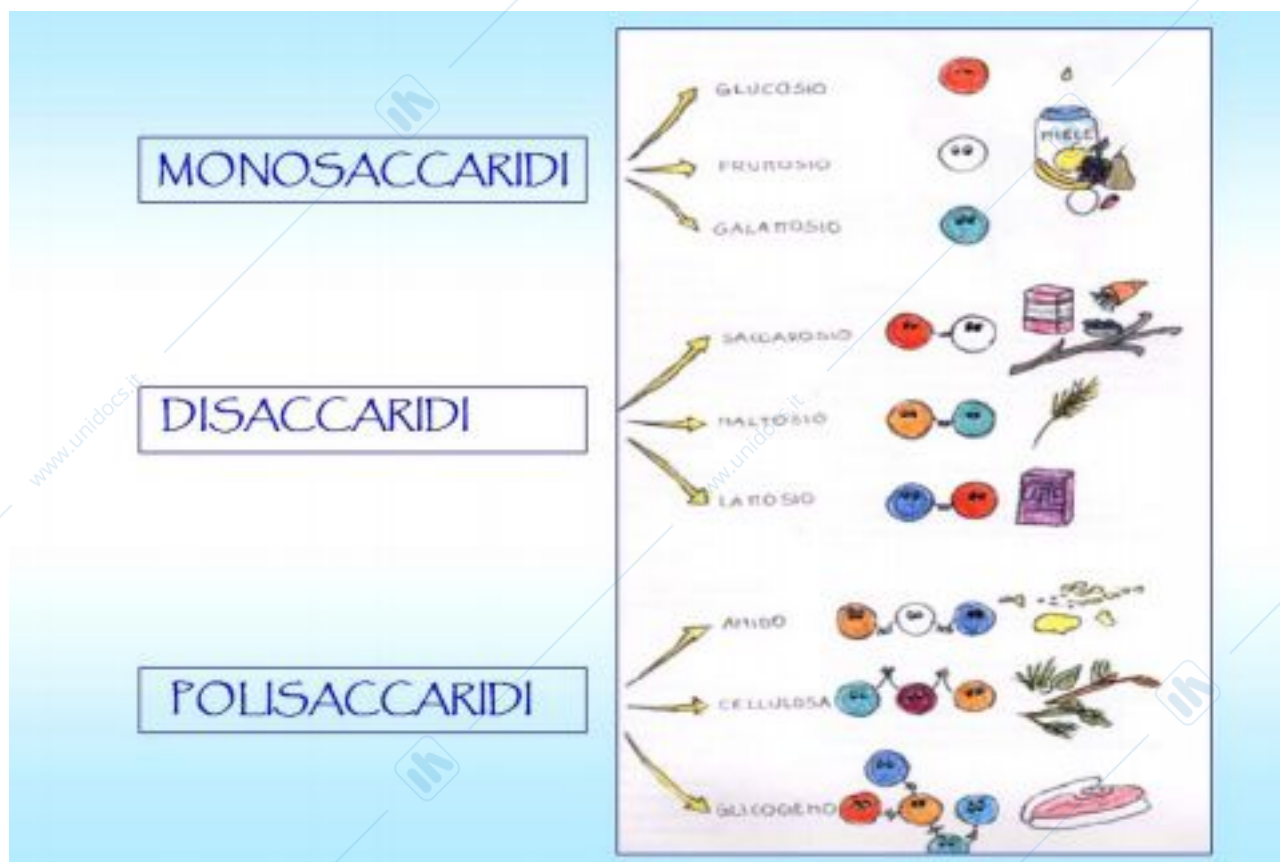
Quindi ritroviamo sempre l'OH del carbonio 1, ma il punto di attacco è il carbonio 6 dello zucchero, in corrispondenza del quale c'è il punto di ramificazione.

Il monomero è alfaD-glucosio in amido e glicogeno e il legame che si stabilisce è *alpha-1,4-glicosidico* nella catena lineare o *alpha-1,6-glicosidico* nei punti di ramificazione.

L'altro importante polisaccaride la cellulosa, che è formata da glucosio, ma il legame che si forma è beta, quindi la differenza è la posizione dell'OH legato al carbonio 1: nella cellulosa il legame è *beta-1,4-glicosidico* e sono assenti punti di ramificazione. Vediamo dunque che si tratta di un polimero lineare e questo fa sì che le strutture che contengono cellulosa siano fibre resistenti che consolidano la parete della cellula vegetale.

Come saprete noi non possiamo digerire la cellulosa, la eliminiamo come fibra, mentre alcuni animali che ospitano nell'intestino alcuni batteri che possiedono enzimi per smaltire la cellulosa, la digeriscono perché questi batteri degradano il legame 1,4-glicosidico.

Ancora altri polisaccaridi sono costituiti da monomeri differenti e sono assemblati con un'alternanza uguale: l'unità ripetuta è di fatto un sistema per ottenere un polisaccaride non informativo, perché non c'è nessuna particolare differenza fra un punto ed un altro. Questi polisaccaridi sono presenti nella parete batterica e negli esoscheletri di alcuni insetti.



I **lipidi**, ultimo gruppo di macromolecole, sono sempre non informativi e non formate da processi di polimerizzazione.

Sono **lipofili**, quindi molecole grasse, ma a seconda della loro struttura essi possono contenere anche dei gruppi idrofili (ed in questo caso i lipidi saranno delle molecole anfipatiche come abbiamo visto per i fosfolipidi).

In questa parte noi prenderemo in considerazione vari tipi di lipidi: alcuni completamente idrofobici, altri anfipatici.

Il ruolo di queste molecole è di **riserve energetiche**, come sono i lipidi degli adipociti delle cellule del tessuto adiposo, **strutturali** di membrane (le nostre membrane cellulari sono prevalentemente costituite da lipidi), ma hanno anche delle **funzioni biologiche specifiche**: ad esempio alcuni steroidi sono degli importanti **ormoni**.

L'estremità e il gruppo $-COOH$ definisce la funzione acida di questi acidi grassi saturi che a seconda del numero di atomi di carbonio prendono nomi diversi.

L'**oleico** è un acido grasso insaturo, cioè contiene un doppio legame (il **linoleico** ne contiene due di doppi legami).

Laddove c'è il doppio legame, i carboni non hanno una struttura tetraedrica ma planare: in quel punto c'è un flesso della catena con un andamento lineare e si forma un angolo molto più marcato (questo sarà importante quando parleremo della rigidità della struttura della membrana).

I **trigliceridi** sono delle molecole che si formano per esterificazione del glicerolo con acidi grassi.

La reazione prevede la perdita di una molecola di acqua per ogni legame estereo che si forma; gli -OH del glicerolo reagiscono con gli acidi grassi per formare un trigliceride che può avere delle code sature o insature.

Abbiamo già detto che i fosfolipidi sono ottenuti dal legame di acidi grassi con il glicerolo in corrispondenza di due funzioni alcoliche e la terza funzione alcolica è impegnata con il legame con il gruppo fosfato e con un gruppo -R che può avere delle caratteristiche diverse a seconda del fosfolipide.

Gli **sfigolipidi** sono delle molecole che hanno una struttura simile ai fosfolipidi perché hanno due code idrofobiche e una testa polare, però hanno come porzione caratteristica non il glicerolo ma la sfigosina.

Infine gli altri lipidi di cui brevemente ci occuperemo sono gli **steroidi** che hanno una caratteristica struttura a 4 anelli, 3 a sei termini e due a 5 termini e i **terpeni** che sono dei polimeri ottenuti per assemblaggio dell'isoprene, presenti sia negli organismi animali che vegetali.

Allora moto brevemente scendiamo nel dettaglio di queste famiglie che vi ho illustrato: gli **acidi grassi**, che hanno una catena idrocarburica di 12-20 atomi di carbonio (che può essere lineare con un punto di flesso).

Con lineare intendo che ha un andamento lineare e lo si può veder meglio dal disegno della combinazione di carboni tetraedrici. Il bastoncino che si ottiene è un acido grasso che può essere impacchettato in modo molto compatto; laddove invece l'acido grasso è insaturo, c'è un punto di saturazione che piega questo bastoncino e questo ha come conseguenza un impacchettamento non compatto delle membrane plasmatiche.

Se gli acidi grassi legano il glicerolo formano i trigliceridi.

Se sono formati da acidi grassi saturi sono impacchettati in modo molto compatto, come nel burro, quando invece i trigliceridi contengono acidi grassi insaturi, c'è questo punto di flesso che determina un impacchettamento meno compatto, ad esempio l'olio d'oliva.

I **fosfogliceridi** hanno il gruppo R di natura chimica diversa; esistono fosfolipidi con gruppi diversi e questo fa sì che la membrana abbia caratteristiche chimiche diverse localmente a seconda del fosfolipide che incorpora.

La formula di struttura di un fosfolipide con una testa ha una carica negativa ed una positiva che interagisce molto bene con l'ambiente acquoso extracellulare e intracellulare.

La rappresentazione a sfere ci fa capire come le code idrofobiche possano essere distanziate fra loro e creare un punto di dissesto, un impacchettamento meno compatto e maggiore quindi fluidità della membrana.

I Glicolipidi che sono lipidi che contengono delle porzioni zuccherine in corrispondenza della testa idrofila e sono glicolipidi che contengono glicerolo o sfingosina come elementi strutturali.

Ed eccoci arrivati alla slide degli **steroidi**: il nucleo tipico è quello a tre anelli a sei termini più un altro anello a cinque termini.

Questa è una struttura base con costituenti diversi e rintracciabili in molte molecole: dal colesterolo (che è anche una molecola di membrana e un componente di membrana), oltre che essere presente anche in altri distretti cellulari.

Gli steroidi non sono solo degli assi strutturali, ma vere e proprie molecole segnale. Ma non abbiate in mente che il lipide sia solo un elemento strutturale o di riserva energetica: può anche essere una molecola segnale, un **ormone**.

I **terpeni** sono derivati dell'isoprene e sono utilissimi nel nostro organismo: ad esempio la vitamina A è un terpene.

Tra i suoi derivati c'è anche il **coenzima Q**, che è un componente fondamentale della catena di trasporto degli elettroni.

