

BIOMOLECOLE (capitolo 4)

La biochimica si occupa dello studio delle biomolecole e dei meccanismi alla base dei processi biologici, le classi di biomolecole sono quattro: carboidrati, lipidi, proteine, acidi nucleici. Questi possono contenere **più di un gruppo funzionale** e presentano una **struttura molecolare articolata con reattività complessa**.

I **CARBOIDRATI** sono le biomolecole più diffuse, la loro funzione è: fonte di energia metabolica, ruolo strutturale per il sostegno delle pareti cellulari e della matrice extracellulare, responsabili di fenomeni di adesione, riconoscimento e scambi di informazioni tra cellule o tra cellule e la matrice extracellulare. I carboidrati sono **composti organici ternari**, formati da tre elementi tra cui **carbonio, idrogeno e ossigeno**, sono anche detti **idrati di carbonio** perché nella molecola l'idrogeno e l'ossigeno sono presenti nello stesso rapporto in cui si trovano nell'acqua, la formula generale è $C_x(H_2O)_y$. I carboidrati a volte si trovano associati anche ad altre molecole di natura diversa formando così molecole ibride dette **glicoconjugati**, un esempio possono essere i *glicolipidi* e le *glicoproteine*. I carboidrati possono anche essere chiamati **zuccheri** (ricordiamo il *saccarosio*, zucchero da tavola e il *fruttosio*, zucchero presente nella frutta), la loro nomenclatura è caratterizzata dal suffisso -osio. I carboidrati possono essere divisi in: **monosaccaridi** (zuccheri semplici che non possono essere ulteriormente idrolizzati), **oligosaccaridi** (zuccheri formati da una catena corta di monosaccaridi), **disaccaridi** (zuccheri formati da due unità di monosaccaridi) e **polisaccaridi** (lunghi polimeri formati da 20 a migliaia di unità di monosaccaridi).

MONOSACCARIDI: sono i carboidrati più semplici, sono composti da molecole la cui formula molecolare è pari a $C_nH_{2n}O_n$, sono classificabili come polioidrossialdeidi e polioidrossichetoni e contengono un **gruppo carbonilico** e **due o più funzioni ossidriliche -OH**. I monosaccaridi sono classificati in base al numero di atomi di carbonio, se il **gruppo carbonilico** si trova **all'estremità** della catena il monosaccaride è detto **aldosio**, mentre se il **gruppo carbonilico** è in **posizione diversa** dall'estremità il monosaccaride è detto **chetosio**. I monosaccaridi possono presentare uno o più atomi di carbonio chirali, detti stereocentri, l'aldosio più semplice è la *gliceraldeide*, questo presenta un carbonio chirale e pertanto esiste in due forme enantiomeriche, la destrogira (+, rotazione vs destra) e la levogira (-, rotazione vs sinistra). Secondo la **proiezione di Fischer**, per convenzione è posto verso l'alto l'atomo di carbonio più ossidato (ovvero quello del gruppo funzionale COH) e in verticale la catena di atomi di carbonio, assegnando poi la lettera **D** alla configurazione della gliceraldeide con gruppo ossidrilico a destra della catena e la lettera **L** alla configurazione della gliceraldeide con gruppo ossidrilico a sinistra della catena. In generale le molecole di monosaccaridi della serie D, presentano il gruppo -OH più lontano dal gruppo aldeidico o chetonico legato sulla destra, mentre le molecole di monosaccaridi della serie L, presentano il gruppo -OH più lontano dal gruppo aldeidico o chetonico legato sulla sinistra. Dunque le **notazioni D e L** fanno riferimento alla rappresentazione della **posizione dei legami nello spazio**, mentre i **segni + e -** fanno riferimento al **verso della rotazione del piano della luce polarizzata**. Sono invece detti due carboidrati che differiscono soltanto per la configurazione attorno a uno dei carboni chirali. La forma ciclica dei monosaccaridi la si ottiene grazie alle formule di **proiezione di Haworth**, le molecole di monosaccaridi a 5 o 6 atomi di carbonio formano strutture cicliche (gli anelli a 5 atomi sono detti **furanosi**, mentre quelli a sei atomi sono detti **piranos**, la chiusura dell'anello avviene tramite una reazione di addizione nucleofila tra il gruppo ossidrilico legato a uno degli atomi di carbonio terminali della catena e il gruppo aldeidico o chetonico ottenendo la formazione di un **emiacetale ciclico**. La chiusura dell'anello e la formazione dell'emiacetale porta conseguenze sulle proprietà della molecola, dando origine a nuovi anomeri, nel caso del D-glucosio, esiste α -D-glucosio (gruppo -OH posto sotto il piano dell'anello) e β -D-glucosio (gruppo -OH posto sopra il piano dell'anello).

DISACCARIDI: hanno origine dalla condensazione di due monosaccaridi legati da un legame glicosidico, si tratta di un acetale il cui gruppo -OH anomero è sostituito da un gruppo -OR. il legame glicosidico è indicato attraverso la posizione degli atomi di carbonio delle due molecole che si uniscono (il maltosio ad esempio presenta un legame Alfa-1,4- glicosidico). Più in generale, quando la catena di monosaccaridi è formata dai 2 ai 20 monomeri si parla di oligosaccaridi. Tra i disaccaridi di più comuni troviamo il saccarosio, il maltosio e il lattosio. Il **saccarosio** deriva dall'unione tra una molecola α -D-glucosio e una di β -D-fruttosio attraverso un legame glicosidico tra l'ossidrilico del C-1 del glucosio e il C-2 del fruttosio, per cui il **legame** sarà detto **α -1,2- glicosidico**, dopo la condensazione il saccarosio è definito zucchero non riducente, perché non è presente in forma emiacetale aperta e ossidabile. Il maltosio ha origine dalla condensazione di due molecole di α -D-glucosio, l'OH legato al carbonio anomero della prima unità monosaccaridica reagisce con

l'OH legato al C-4 del secondo glucosio, formando un legame detto α -1,4-glicosidico, inoltre è definito zucchero riducente perché dispone di un gruppo emiacetalico libero. Il lattosio invece è il principale zucchero del latte, è un disaccaride composto da β -D-galattosio e β -D-glucosio legati dal legame β -1,4-glicosidico, anch'esso presenta un gruppo emiacetalico libero e pertanto è considerabile zucchero riducente e capace di creare il fenomeno della mutarotazione (apertura e chiusura si ripetono in continua interconversione tra le forme anomere e la struttura aperta).

POLISACCARIDI: sono **polimeri naturali** derivanti dall'unione di numerose molecole di monosaccaridi aldosi e chetosi, con la perdita di una molecola di H₂O (reazione di condensazione) per ogni legame glicosidico che si forma. Tra i polisaccaridi più importanti ricordiamo l'**amido**, la **cellulosa**, la **chitina** e il **glicogeno**. Hanno varie funzioni, quella di riserva energetica nel caso dell'amido (piante) e del glicogeno (animali) e funzione strutturale nel caso della cellulosa (parete cellulare dei vegetali) e della chitina (esoscheletro crostacei e insetti e parete funghi). L'**amido** è composto da due molecole, l'amilosio al 20% (catena lineare formata da unità di α -D-glucosio e legami α -1,4-glicosidici) e l'amilopectina all'80% (catena ramificata formata da legami α -1,6-glicosidici) le cellule vegetali accumulano l'amido sotto forma di granuli all'interno di organelli chiamati: *amiloplasti*.

Il **glicogeno** è composto da molecole di glicogeno (glucosio) e ha struttura simile all'amido, presenta infatti per le catene lineari legami del tipo α -1,4-glicosidici e per le catene ramificate legami del tipo α -1,6-glicosidici, ma rispetto all'amido è maggiormente ramificato e ciò rappresenta un enorme vantaggio nel momento in cui ciò permette un maggiore ottenimento di riserva energetica. La **cellulosa** è composta da molecole di glucosio (β -glucosio), grazie a legami β -1,4-glicosidici sono formate catene lineari prive di ramificazioni.

La chitina è costituita da subunità di N-acetilglucosammina

Abbiamo, infine, i peptidoglicani che sono polisaccaridi presenti nella parete cellulare dei batteri

Lunghe catene non ramificate costituite da unità disaccaridiche unite da legami 1,4 β glicosidici. Le catene sono unite tra loro per mezzo di brevi catene formate da 4 o 5 aminoacidi.

I **LIPIDI** sono un gruppo di sostanze eterogenee dal punto di vista chimico ma avente tutte una stessa proprietà fisica, ovvero l'essere insolubili in acqua (idrofobe) e estraibili con solventi non polari (lipofili), come etere, cloroformio e benzene. Chimicamente i lipidi possono dividersi in **saponificabili** (formano

sapone, tramite un processo di idrolisi per riscaldamento in presenza di basi forti, ricordiamo essere tali i trigliceridi, fosfolipidi e glicolipidi) e in **insaponificabili** (non formano sapone, ricordiamo essere tali gli steroidi e le vitamine liposolubili). Tra le **funzioni** più importanti, ricordiamo il ruolo di riserva energetica, impermeabilizzante, di isolamento termico e messaggeri chimici per la regolazione cellulare. Gli acidi grassi hanno catene non ramificate di idrocarburi con il gruppo carbossilico (fortemente polare e dunque solubile in acqua) ad un'estremità (C16-C18), in base ai legami che li caratterizzano possono essere classificati in: **acidi grassi saturi** (legami semplici e forma lineare) e **acidi grassi insaturi** (legami doppi e forma da stabilire se lineare o ramificata) e a loro volta

questi ultimi si possono suddividere in **monoinsaturi** (un legame doppio) e **polinsaturi** (più legami doppi, un esempio può essere l'acido linolenico). Inoltre gli **acidi grassi insaturi** in base alla loro isomeria sono classificabili in **CIS** (formazione con piegatura a gomito, evita l'ingombro sterico e a temperatura ambiente perché non compattabili restano liquidi, si tratta degli oli, fanno meno male) e **TRANS** (formazione lineare, si compattano tra loro e a temperatura ambiente sono solidi, si tratta di grassi, fanno male. Formano la parete eteroscheletrica). I **trigliceridi** sono biomolecole di dimensioni variabili, sono costituiti da una molecola di glicerolo e tre acidi grassi che reagendo tra loro mediante tre reazioni di condensazioni: in ogni reazione si ottiene una molecola d'acqua quando un gruppo ossidrilico del glicerolo (alcol a 3 atomi di carbonio contenente 3 gruppi OH) reagisce con il gruppo carbossilico di un acido grasso (lunga catena idrocarburica non ramificata alla cui estremità si trova un gruppo carbossilico COOH) portando alla formazione di un legame covalente noto come legame **estereo**. La prima reazione produce un mono gliceride, la seconda un di gliceride e la terza un trigliceride

Tra le **funzioni** più importanti da loro svolte ricordiamo la funzione di riserva energetica (negli animali si accumulano in cellule dette adipociti, mentre nelle piante in strutture dette oleosomi), di isolamento termico (in animali tramite tessuto adiposo sottocutaneo) e di protezione dagli urti (grasso che circonda reni). Le **miscele dei trigliceridi** sono chiamate **oli** se liquide a temperatura ambiente (olio di oliva) o **grassi** se solide a temperatura ambiente (burro). La **reazione di idrolisi basica** dei grassi e degli oli è detta **saponificazione** perché i principali **prodotti** sono i sali sodici degli acidi grassi (comunemente detti **saponi**). I **fosfolipidi** presentano come principale funzione quella strutturale, infatti sono principali componenti delle membrane biologiche, esse sono formate dall'unione di una molecola di glicerolo a 2 acidi grassi e a un gruppo fosfato che generalmente si lega tramite un legame estere ad un amminoalcol (colina o etanolammina). Essi sono anfifilici (caratteristica principale che permette formazione delle membrane), di fatto sono molecole dotate sia di una parte idrofila (testa, formata da gruppo fosfato e amminoalcol) sia da una parte idrofoba (coda, formata da lunghe catene idrocarburiche degli acidi grassi), proprio grazie a tale caratteristica in ambiente acquoso i fosfolipidi si dispongono in un monostrato formando una micella o in un doppio strato con le teste polari rivolte in ambiente acquoso e le code apolaririvolte specularmente e internamente le une verso le altre, per stabilità poi il doppio strato si ripiega formando una sfera detta liposoma. Nello strato esterno della membrana sono poi presenti **glicolipidi**, sono

dei recettori che riconoscono ciò che può/non può estrarre nella cellula, sono composti da un acido grasso, amminoalcol e monosaccaride (piccola catena di zuccheri), è detto glicolipide perché zucchero (glico) è legato al lipide. Gli steroidi presentano una struttura di base detta sterano, se il C-3 si lega a un gruppo -OH si parla invece di steroli (tipici di piante, animali, funghi e incorporati in alcuni batteri), gli steroli nelle piante prendono il nome di fitosteroli, mentre negli animali di zoosteroli. Il più importante zoosterolo ricordiamo essere il **colesterolo**, composto da sterano con un -OH legato a C-3, due gruppi metilici legati al

C-10 e C-13 e una catena alchilica laterale legata a C-17. Funzioni del colesterolo sono varie, ricordiamo ad esempio il dare stabilità alla membrana (riducendo fluidità) e quella di essere il precursore di alcune vitamine (acidi biliari (producono la bile, in intestino, prodotto dal fegato e si occupa dell'emissione di grassi) e ormoni steroidei (regolatori dell'espressione genica)). Il colesterolo è sintetizzato maggiormente nel fegato, solo il 30-40% proviene dalla dieta, viene eliminato poi dall'organismo tramite escrezione o conversione in acidi biliari, inoltre se il colesterolo totale (derivante da sintesi e dieta) è in eccesso può avere ripercussioni negative sull'organismo portando allo sviluppo di patologie cardiovascolari o aterosclerosi (accumulo di colesterolo nelle pareti delle arterie formando delle placche). Si considerano

steroidi anche gli **ormoni steroidei** sintetizzati partendo dal colesterolo, questi sono divisi in **glucocorticoidi** (modificano metabolismo di biomolecole principali e generano risposta a stress e infiammazioni), **mineralcorticoidi** (regolano escrezione renale) e **ormoni sessuali** (testosterone, progesterone e estrogeni, modulano sviluppo e funzione sessuale), i primi due sintetizzati da ghiandole surrenali, mentre gli ultimi sono prodotti dalle gonadi. Il colesterolo è insolubile in acqua e per essere trasportato nel sangue è impacchettato in **lipoproteine** (colesterolo è circondato da proteine che sono solubili in H₂O), le 2 tipologie principali sono le lipoproteine LDL (sono a bassa densità e rappresentano colesterolo "cattivo") e le lipoproteine HDL (sono a alta densità e rappresentano colesterolo "buono").

I carotenoidi sono pigmenti vegetali arancioni e gialli presenti in alcune piante (peperone e carota) e sono insolubili in acqua e con consistenza oleosa

Sono formati da unità isopreniche. I caroteni delle piante sono i precursori della Vitamina A che si trova solo negli animali e che può essere convertita nel pigmento visivo retinale.

Le **PROTEINE** hanno un ruolo fondamentale nella vita umana, sono composti organici quaternari formati da carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto, si classificano come molecole organiche complesse e svolgono varie importanti funzioni, come la funzione catalitica (alcune proteine sono enzimi, ovvero catalizzatori biologici), strutturale (danno forma a cellule e tessuti e ne stabiliscono proprietà), trasporto e deposito, cinetica (mutano conformazione tridimensionale permettendo il movimento), di difesa (immunoglobuline o anticorpi, alla base della risposta del sistema immunitario) e di regolazione (ormoni che permettono comunicazione tra cellule distanti tra loro). Caratteristica comune di tutte le proteine è la struttura, sono infatti poliammidi formate da α -amminoacidi. Gli **AMMINOACIDI** sono composti bifunzionali, contengono un gruppo carbossilico e un gruppo amminico. Gli amminoacidi si dividono in serie D (gruppo amminico a destra) e in serie L (gruppo amminico a sinistra). Gli amminoacidi che compongono le proteine sono 20 (più semplice è la glicina che non presenta carboni chirali) tra essi 12 vengono prodotti dal cibo e 8 invece sono essenziali e vengono riprodotte dallo stesso organismo, si distinguono per le loro catene laterali (R) infatti possono contenere vari gruppi funzionali, in base poi alla loro struttura sono divisibili in polari, apolari, acidi (hanno 2 gruppi carbossilici) e basici (hanno 2 gruppi amminici), (vedere nomi dal libro). Per quanto riguarda le proprietà chimiche/fisiche ricordiamo essere solidi cristallini con elevati punti di fusione, poco solubili in solventi apolari e solubili in acqua. Gli amminoacidi sono **anfoteri** per cui hanno doppio comportamento sono acidi per -OH (in presenza di basi) e sono basi per il gruppo amminico (in presenza di acidi), di conseguenza ogni amminoacido presenterà un preciso valore di pH e si presenterà sotto forma di **zwitterone** (carica + su gruppo amminico, carica - su gruppo carbossilico), il valore di pH per cui l'amminoacido diventa zwitterone è detto **punto isoelettrico** (pI) e varia per ogni amminoacido, a pH maggiori del pI l'amminoacido è in forma basica (anionica), a pH minori del pI l'amminoacido è in forma acida (cationica). Caratteristica degli amminoacidi è la formazione di polimeri detti peptidi, in base al numero di monomeri che li compongono si distinguono in dipeptidi, tripeptidi, oligopeptidi etc., mentre se i monomeri legati sono più numerosi si forma un polipeptide. Un **legame peptidico** si forma tramite una reazione di condensazione tra il gruppo carbossilico di un amminoacido e il gruppo amminico di un altro.

Una proteina è una catena polipeptidica che ha raggiunto una forma tridimensionale unica e stabile ed è conseguentemente biologicamente attiva

Le catene polipeptidiche sono sintetizzate nella cellula a partire dall'aminoacido che costituisce l'aminotermine. Perciò l'aminotermine si indica come inizio della molecola e il carbossiterminale come la sua fine.

Le proteine possono presentarsi in 4 differenti strutture, la **struttura primaria** è data da una sequenza ordinata di amminoacidi che compongono la proteina (catene lineari di amminoacidi), se cambia la disposizione anche di un solo amminoacido varia la funzione della proteina. La **struttura secondaria** è data dalla disposizione che porzioni della catena peptidica assumono nello spazio grazie alla presenza di legami idrogeno presenti tra i residui amminoacidici, questa si divide in **α -elica** (conferisce massima stabilità alla molecola, la catena è avvolta su se stessa formando un elica destrorsa e presentano i gruppi -R verso

l'esterno, i legami idrogeno legano parti diverse di una stessa catena, ed è proprio grazie a questi legami che avvengono tra i gruppi carbossilico (C=O) e amminico (NH₂) di vari residui amminoacidici che si mantiene la disposizione a elica) e ***β-foglietto ripiegato*** (catene proteiche sono poste l'una affianco all'altra e sono unite tra loro da legami idrogeno mentre i gruppi R sono disposti trasversalmente al piano del foglietto. La **struttura terziaria** è data dalla conformazione tridimensionale della catena polipeptidica, è stabilizzata mediante interazioni chimiche di vario tipo, quali legame ionico, ponte di solfuro, legame idrogeno e forze di London, questa struttura può variare al variare di temperatura e pH perdendo la loro configurazione (*folding*, ripiegamento), la loro attività biologica e caratteristiche, ciò è detto denaturazione. La **struttura quaternaria** è data dall'associazione di più catene polipeptidiche, non tutte le proteine la possiedono, di fatto è riservata solo alle proteine composte da più subunità che si aggregano mediante legami a idrogeno e ionici creando strutture complesse. Le proteine aventi questo tipo di struttura sono divisibili in **proteine fibrose** (di origine animale, insolubili in H₂O, es. cheratine e collagene) e in **proteine globulari** (solubili in H₂O e con forma quasi sferica, es. ormoni, enzimi, (proteine di trasporto, emoglobina, i carriers e di deposito, albumina)).

Insulina: prima proteina della quale sia stata descritta la composizione e la sequenza degli aminoacidi.

È formata da due catene polipeptidiche (catena A e catena B), legate da due ponti disolfuro; (formati dall'interazione di due -SH di cisteine) un ulteriore ponte disolfuro si forma all'interno della catena A. La catena A è formata da 21 aminoacidi, la B da 30 aminoacidi.

Emoglobina (Hb): proteina formata da due catene (a globina e b globina).

L'attività biologica di una proteina può essere modificata da cambiamenti nella sequenza amminoacidica che portano a cambiamenti nella sua conformazione ad esempio **l'anemia falciforme** è dovuta a una mutazione che porta alla sostituzione dell'aminoacido acido glutammico con la valina in posizione 6 della catena beta dell'emoglobina

La sostituzione della valina (aminoacido con catena laterale carica) rende l'emoglobina meno solubile e più propensa a formare strutture cristalline quest'alterazione agisce sui globuli rossi conferendo loro la forma a falce che caratterizza questa malattia

Tabella 5.1 Schema delle principali funzioni svolte dalle proteine

Tipo di proteina	Funzione	Esempi
Proteine strutturali	Supporto	Il collagene e l'elastina forniscono una trama fibrosa ai tessuti connettivi degli animali, quali tendini e legamenti. La cheratina è la proteina dei peli, dei corni, delle penne, delle piume e di altre appendici cutanee.
Proteine di deposito	Deposito di aminoacidi	L'ovalbumina è la proteina dell'albume delle uova utilizzata dall'embrione come riserva di aminoacidi durante lo sviluppo. La caseina, la proteina del latte, è la principale fonte di aminoacidi per il lattante. Le piante depositano aminoacidi nei loro semi.
Proteine di trasporto	Trasporto di altre sostanze	L'emoglobina, la proteina ematica contenente ferro, trasporta l'ossigeno dai polmoni alle altre parti dell'organismo. Altre proteine trasportano molecole attraverso le membrane cellulari.
Proteine ormonali	Coordinamento attività corporee	L'insulina, un ormone secreto dal pancreas, contribuisce alla regolazione della concentrazione del glucosio nel sangue.
Proteine recettoriali	Risposta della cellula a stimoli chimici	I recettori presenti nella membrana di una cellula nervosa rispondono ai segnali chimici liberati da altre cellule nervose.
Proteine contrattili	Movimento	L'actina e la miosina sono responsabili del movimento dei muscoli. Altre proteine contrattili sono responsabili del movimento ondulatorio di organelli noti come ciglia e flagelli.
Proteine di difesa	Protezione contro le malattie	Gli anticorpi combattono batteri e virus.
Proteine enzimatiche	Accelerazione selettiva di reazioni chimiche	Gli enzimi digestivi idrolizzano le molecole polimeriche contenute negli alimenti.

Gli **ACIDI NUCLEICI** sono il DNA e l'RNA. Il **DNA** è una molecola formata da una sequenza lineare di monomeri detti nucleotidi, un **nucleotide** è formato da 3 componenti, base azotata (adenina, guanina (basipuriniche) citosina, timina (basi pirimidiniche), gruppo fosfato e zucchero a 5 carboni detto desossiribosio, inoltre i nucleotidi sono legati tra loro mediante legami covalenti detti **legami fosfodiesterici** (tra gruppo fosfato di un nucleotide e lo zucchero successivo).

L'RNA e il DNA presentano alcune differenze, quali lo **zucchero** (desossiribosio DNA (-1 ossigeno), ribosio RNA), la **base azotata** infatti nell'RNA è presente

l'uracile al posto della timina, la **struttura** infatti il DNA è costituito da 2 filamenti a doppia elica mentre l'RNA è costituito da un singolo filamento, **funzioni diverse** infatti il DNA è responsabile della conservazione e trasmissione dell'info genetica mentre l'RNA è responsabile di trasmissione e regolazione dell'espressione genetica e funzione strutturale. Nelle cellule sono presenti vari tipi di RNA come il mRNA (RNA messaggero), il tRNA (RNA transfer) e rRNA (RNA ribosomiale) e poi esistono dei RNA non codificanti come i miRNA (microRNA) e i siRNA. La struttura tridimensionale del DNA fu studiata e scoperta da Watson e Crick, nel 1953 sulla rivista *Natura* fu pubblicato un nuovo modello per il DNA basato sugli studi e le osservazioni effettuati dai due scienziati. Dai loro studi si scoprì

che la molecola di DNA è composta da due filamenti di nucleotidi legati tra loro e avvolti a spirale, le estremità di questi filamenti risultano essere la 3' (ossidrile libero) e 5' (gruppo fosfato) e sono antiparalleli, i due filamenti sono uniti da legami a ponte di idrogeno presenti tra le coppie di basi opposte, esiste un appaiamento di basi A-T e C-G, l'appaiamento comporta che qualsiasi sia la sequenza di basi di un filamento il filamento corrispondente deve avere sequenza complementare e infine la doppia elica presenta un solco maggiore (2,2nm) e uno minore(1,2nm) presentando un passo di 3,4nm.

LEGAMI

GLICOSIDICO: base azotata + zucchero

FOSFOESTEREO: 5' carbonio + gruppo fosfato

FOSFODIESTEREO: gruppo fosfato + carbonio 3' dello zucchero che lo precede (unisce 2 nucleotidi)