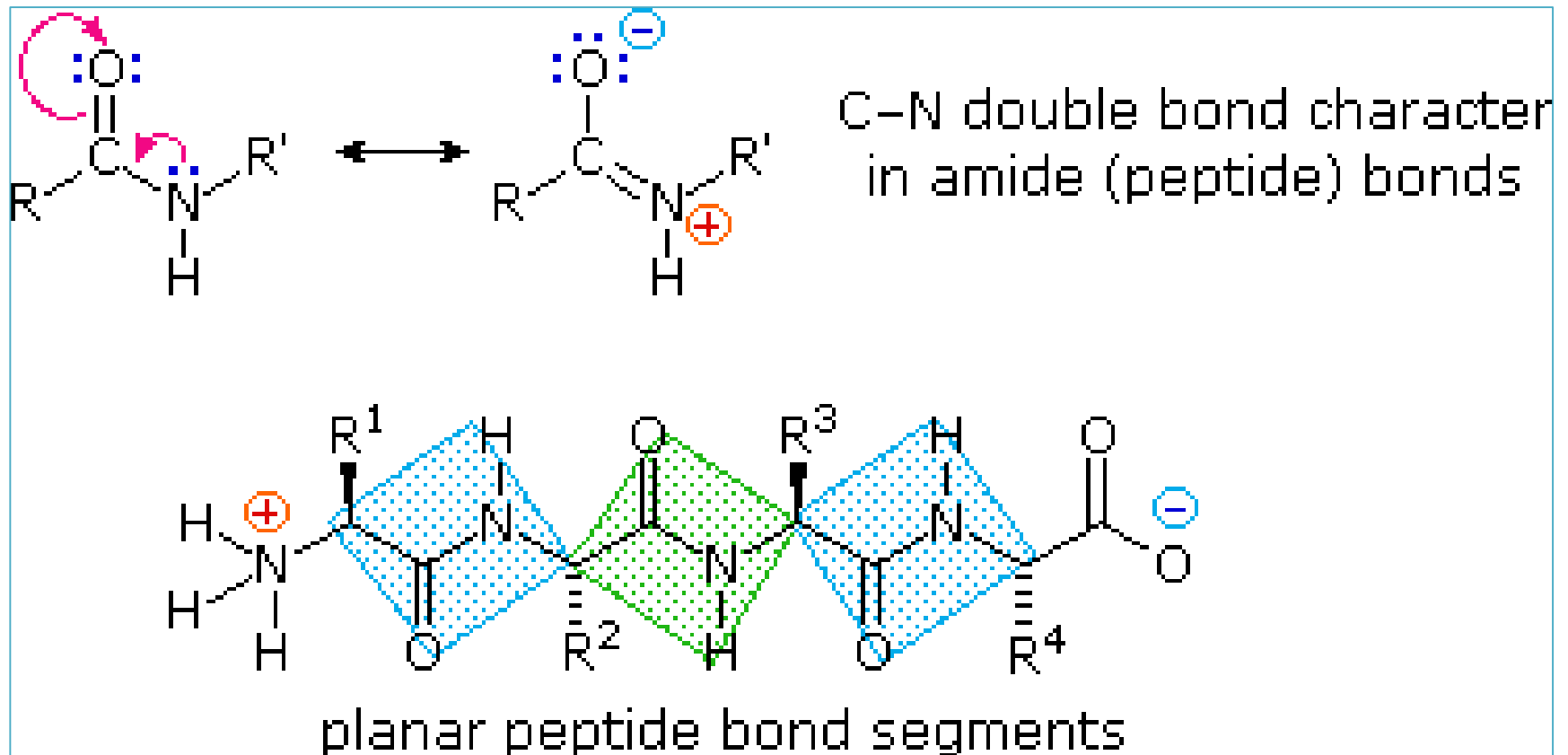


# Le proprietà del legame peptidico

- Il legame peptidico ha una struttura rigida e planare, dovuta al parziale (~ 40%) carattere di doppio legame tra C e N.
- Il legame peptidico C–N è 0.13 Å più corto del legame singolo C-N e 0.08 Å più lungo di un doppio legame C=N.



# Le proprietà del legame peptidico

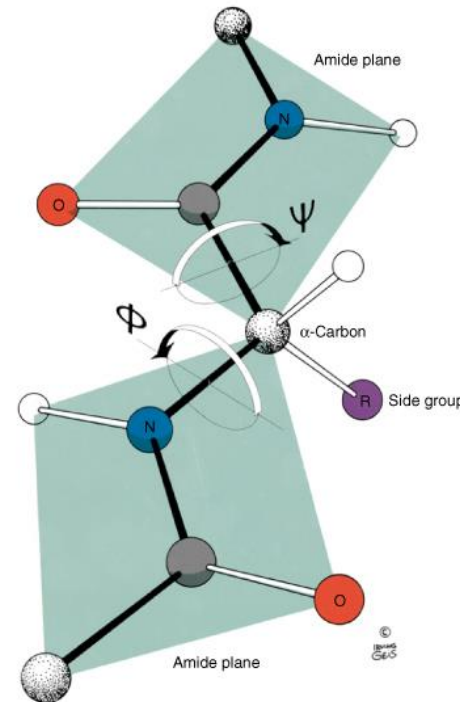
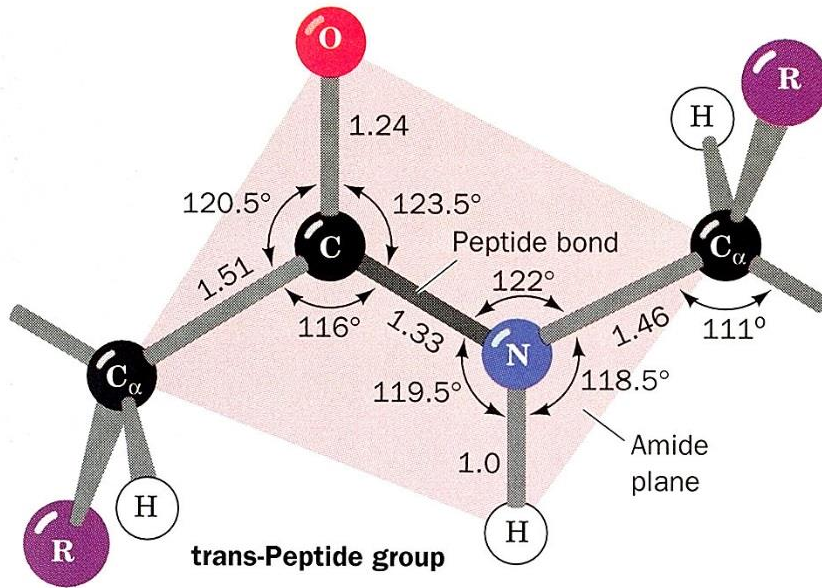
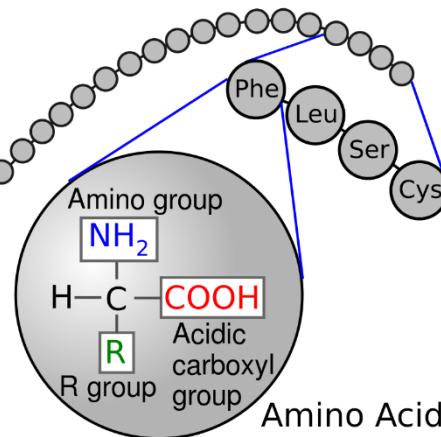
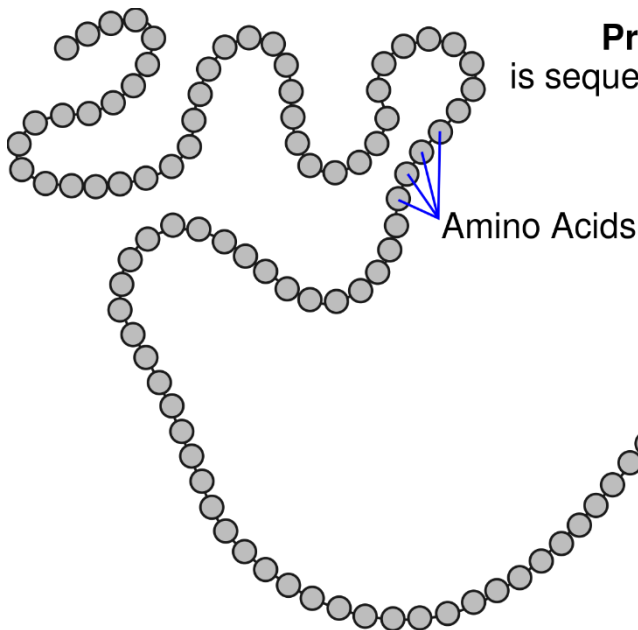
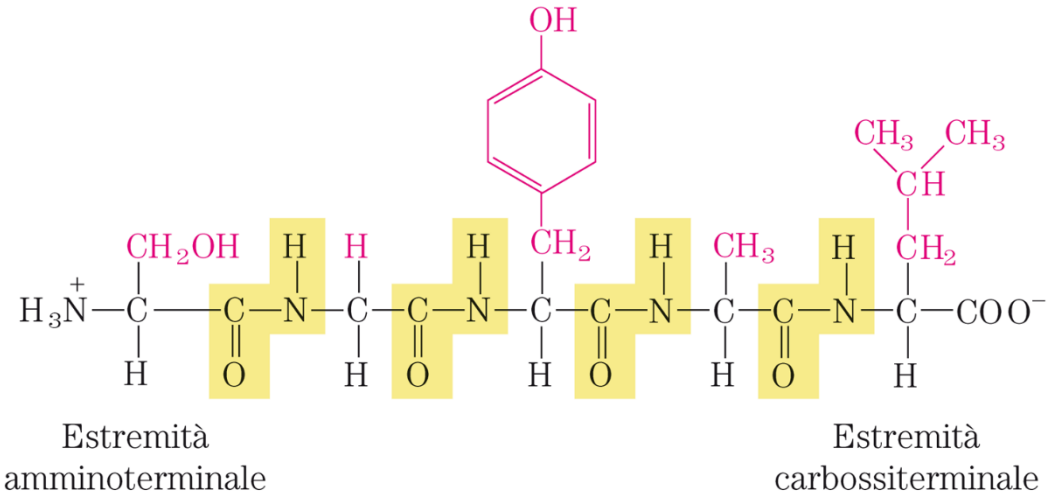


Figure copyrighted by Irving Geis.  
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

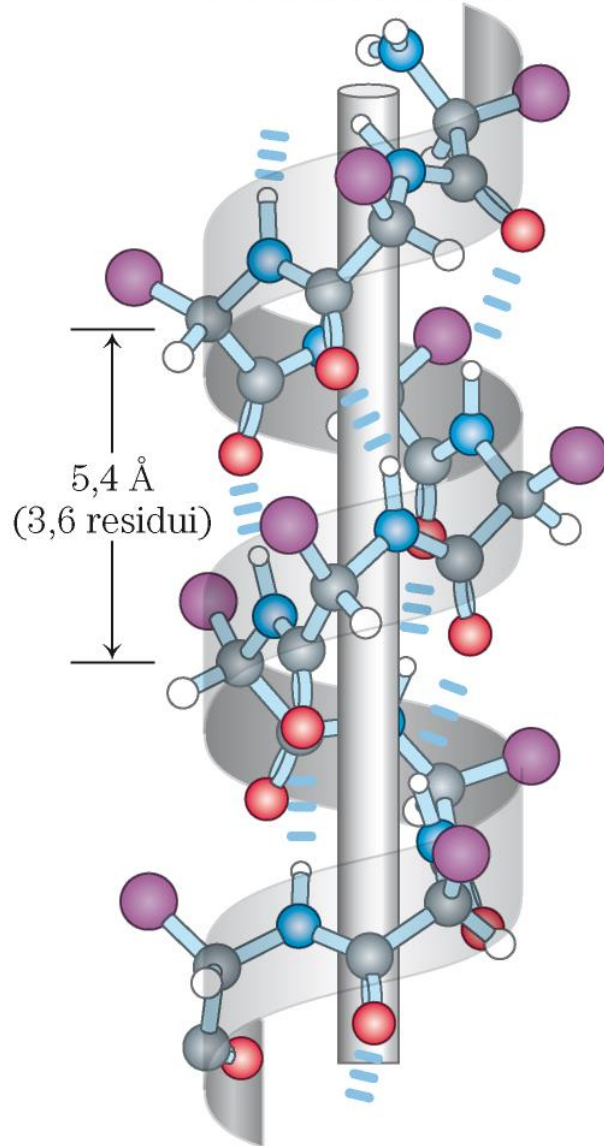
La distribuzione degli angoli  $\Psi$  e  $\Phi$  nella sequenza amminoacidica dà luogo a caratteristiche strutture tridimensionali chiamate strutture secondarie

# La struttura primaria delle proteine

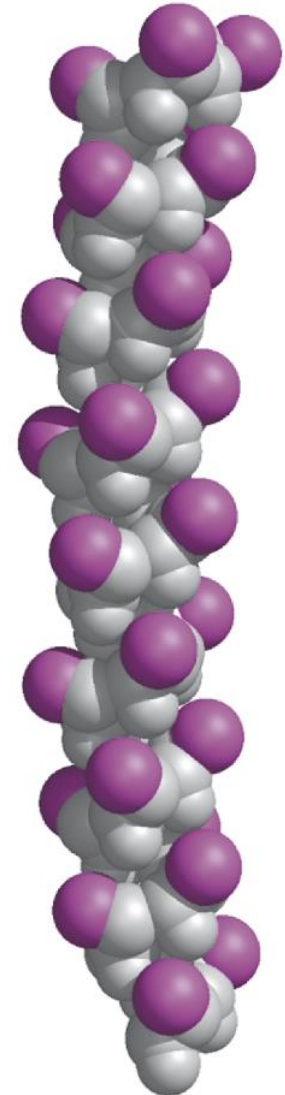
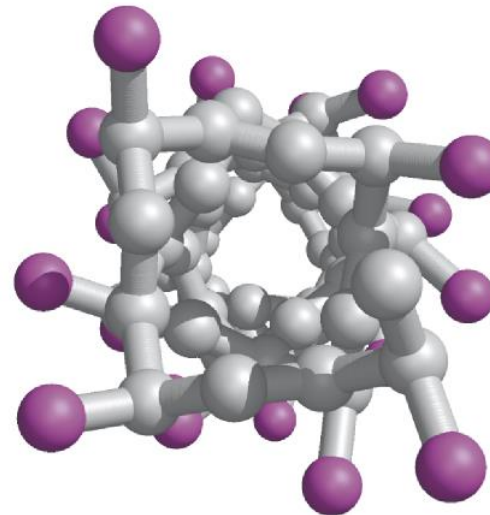


# Struttura secondaria: $\alpha$ -elica

Terminale amminico



- Carbonio
- Idrogeno
- Ossigeno
- Azoto
- Gruppo R



(a)

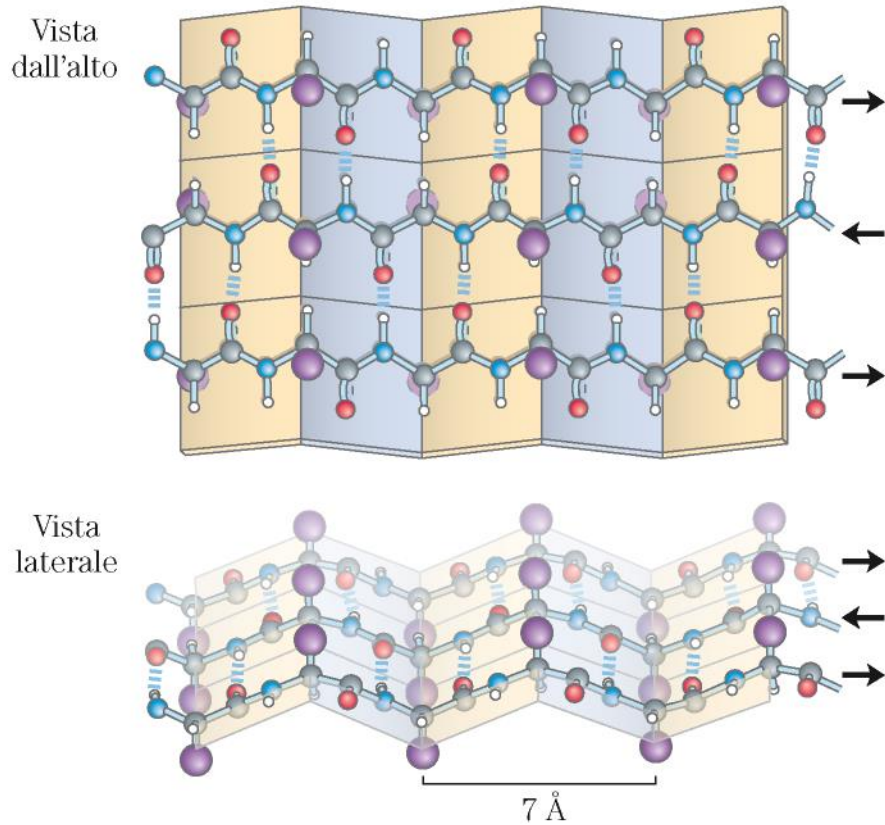
Terminale carbossilico

(b)

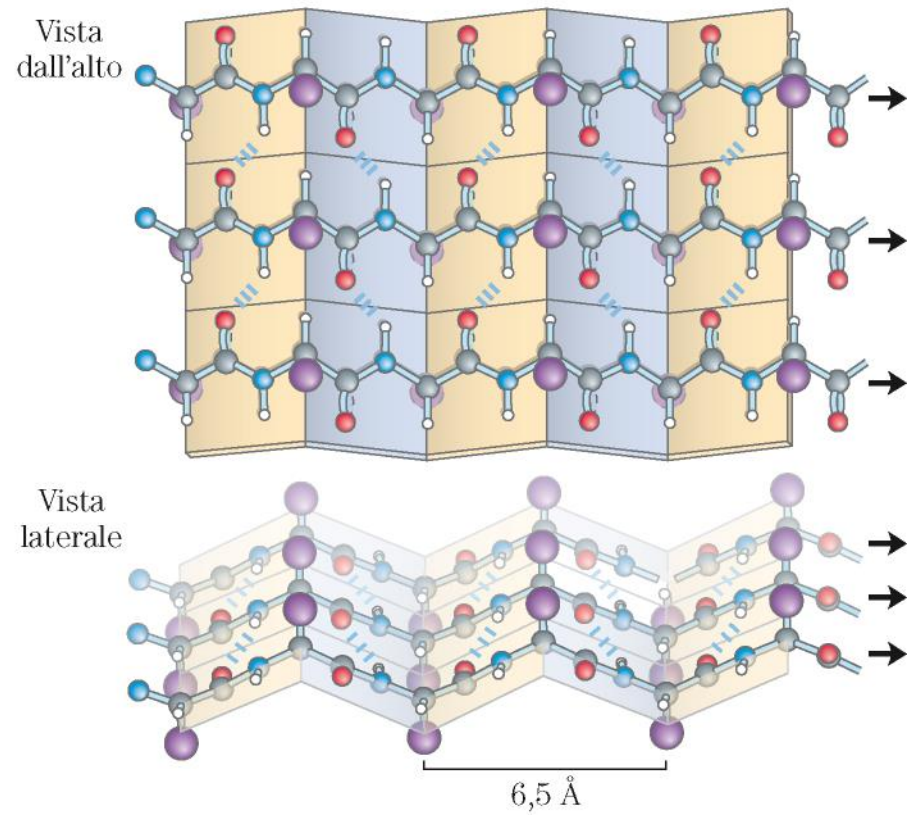
(c)

# Struttura secondaria: foglietto $\beta$

(a) Foglietto antiparallelo



(b) Foglietto parallelo

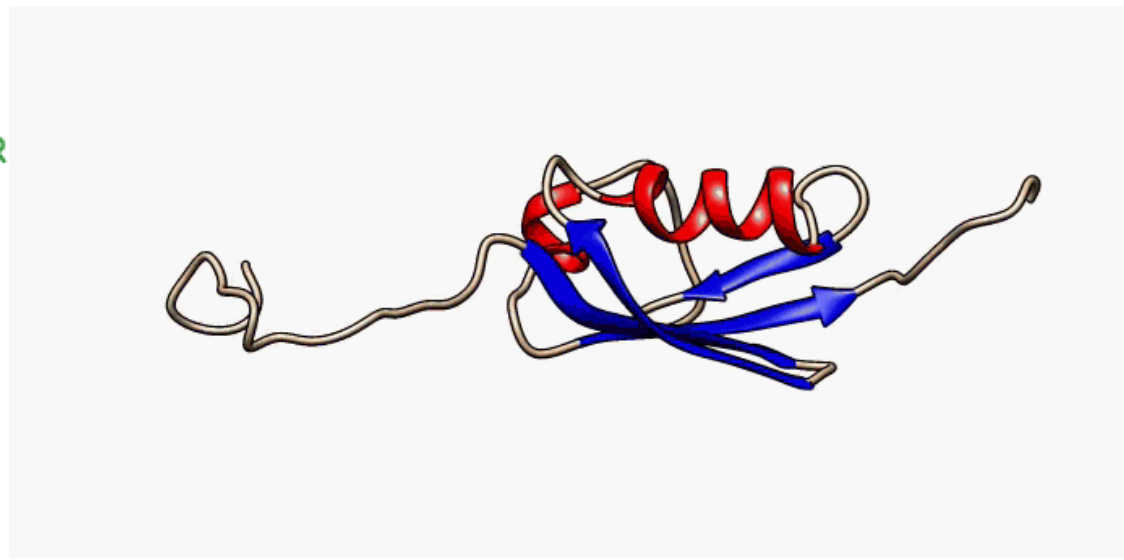
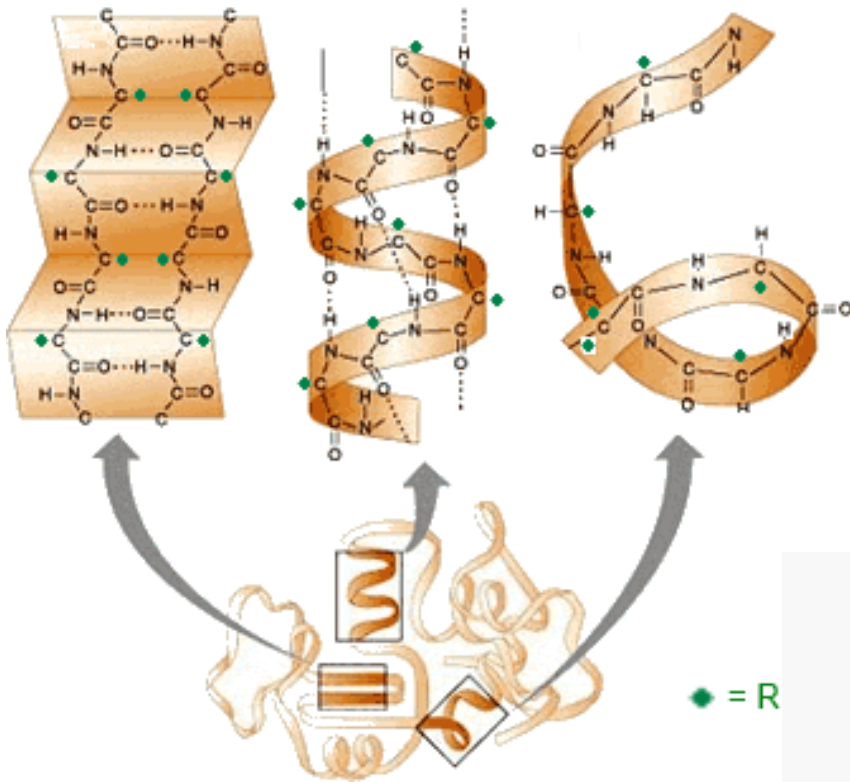


# Struttura secondaria: Random coil

$\beta$   
sheet

$\alpha$   
helix

random  
coil



# Struttura secondaria: i ripiegamenti ( $\beta$ -turns)

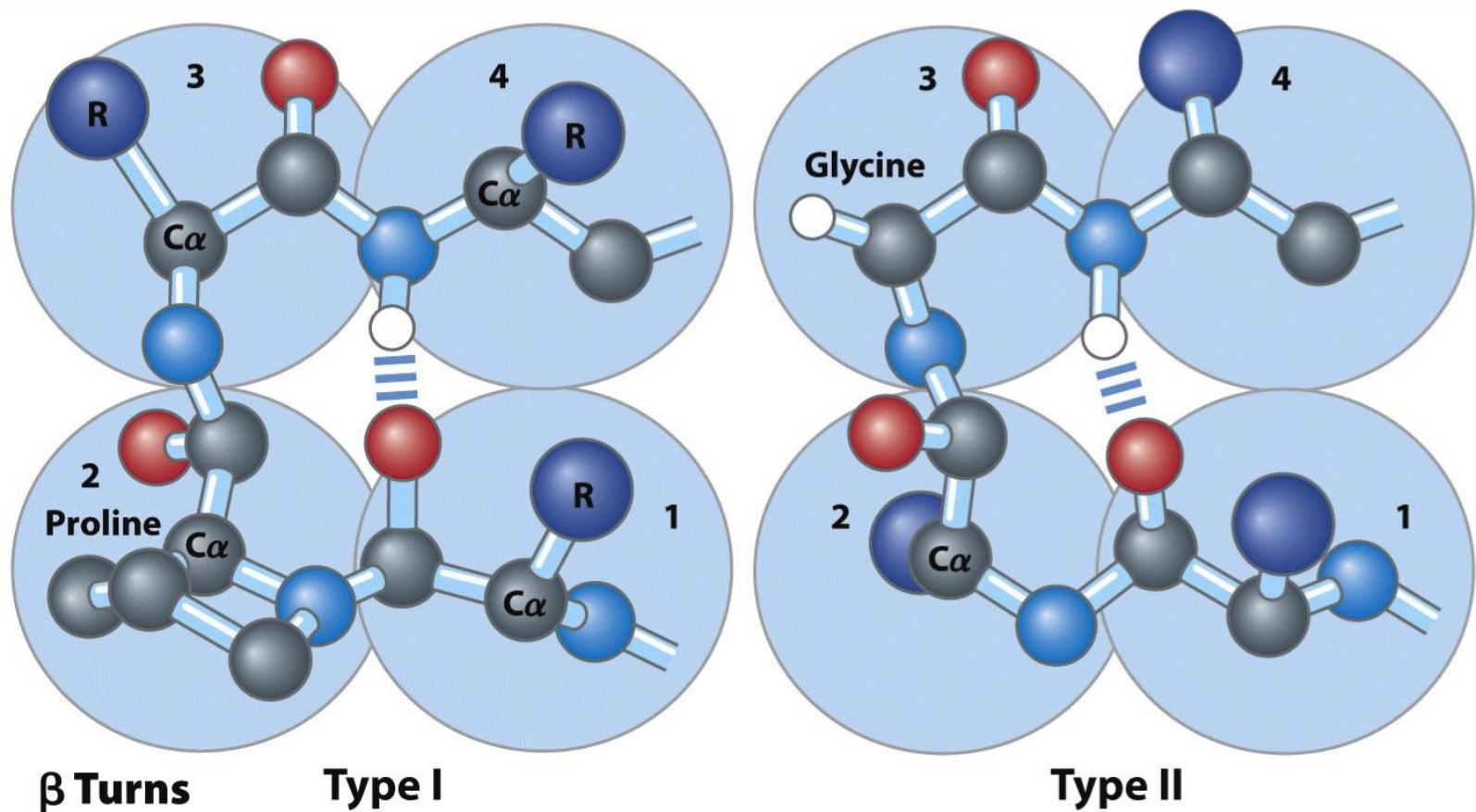


Figure 4-7a  
*Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition*  
© 2008 W. H. Freeman and Company

# Ramachandran plot

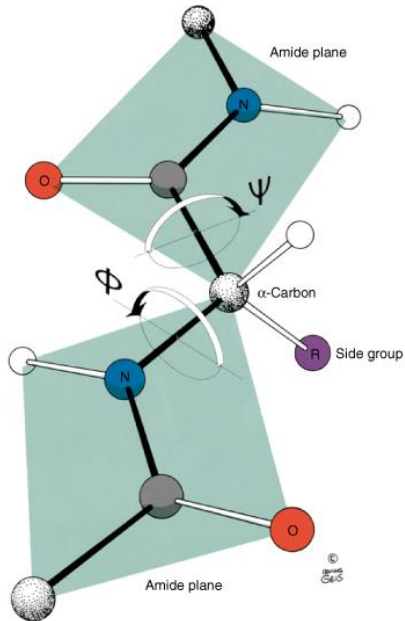
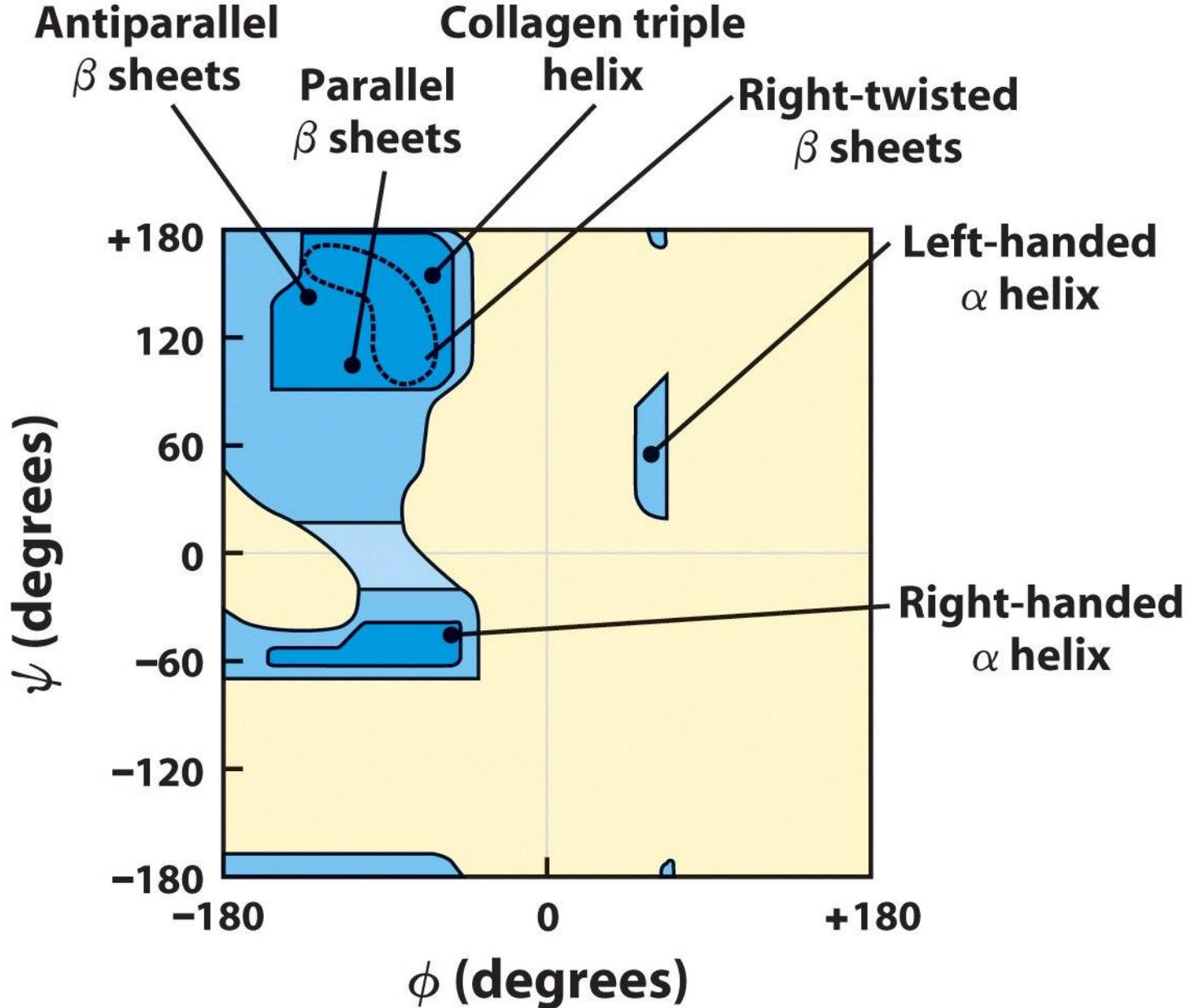


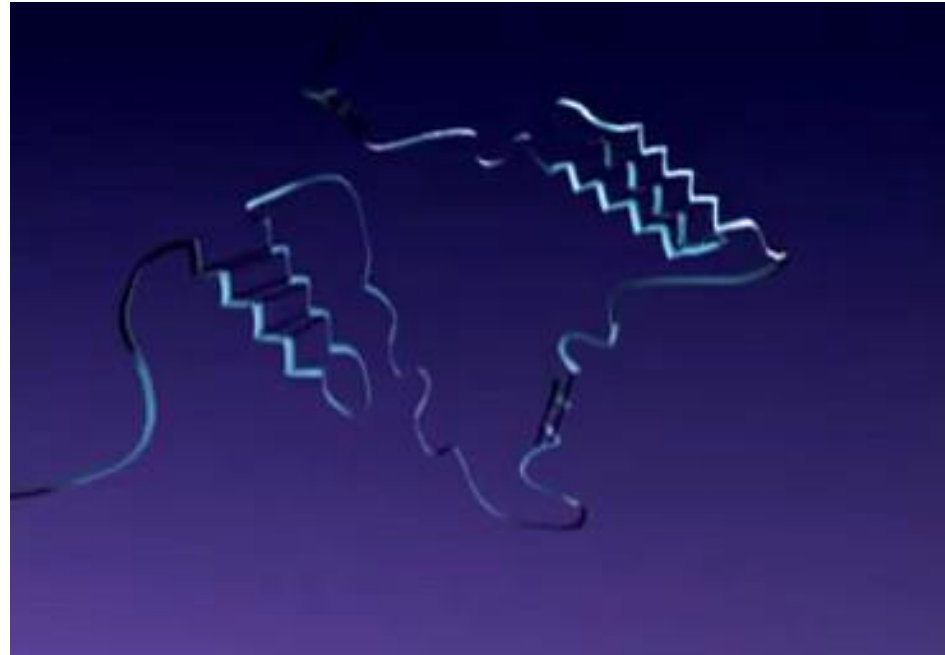
Figure copyrighted by Irving Geis.  
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.





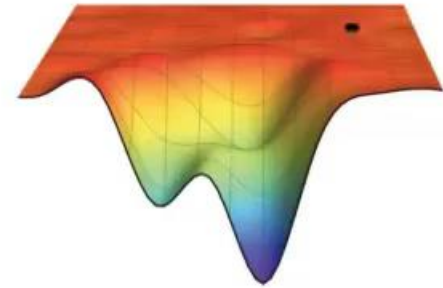
# Struttura terziaria

- La struttura terziaria di una proteina è l'organizzazione tridimensionale che una proteina assume e che dipende dalla sua struttura primaria.
- È determinata dalle interazioni tra i residui amminoacidici e dà luogo a specifiche geometrie di avvolgimento (ripiegamento proteico).
- Sono dette «interazioni a lunga distanza» perché avvengono generalmente tra residui situati molto lontani nella struttura primaria.

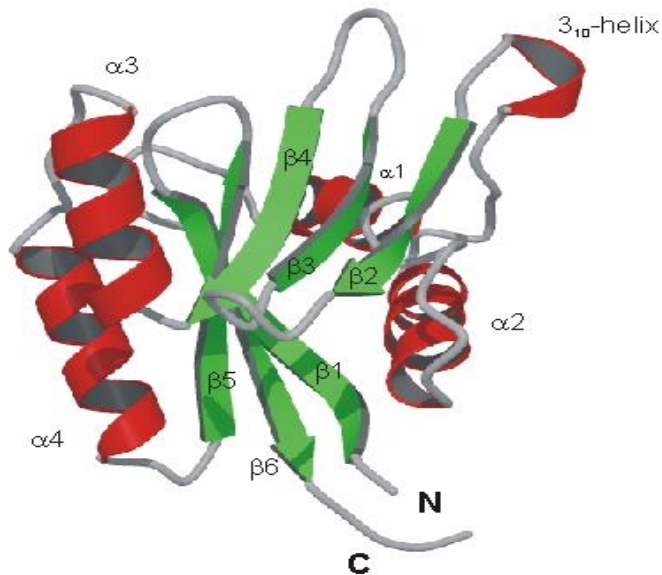
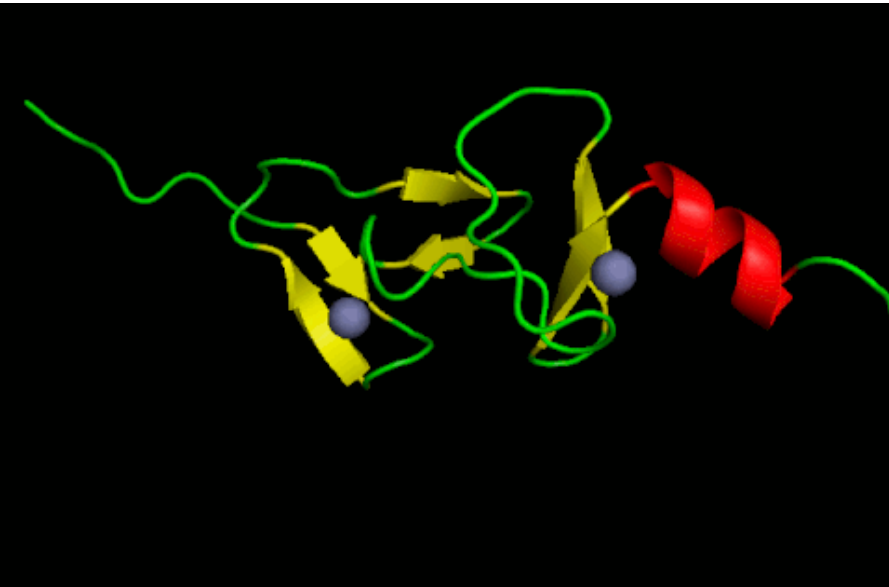


# Struttura terziaria

- Le principali interazioni che contribuiscono al mantenimento della struttura terziaria (così come della struttura secondaria) sono il legame ad idrogeno, le interazioni ioniche, le interazioni dipolo-dipolo.
- In alcune proteine sono presenti anche dei ponti disolfuro, determinati dalla reazione di ossidazione di due residui di cisteina per instaurare un legame tipo S-S, generando un residuo di cistina.

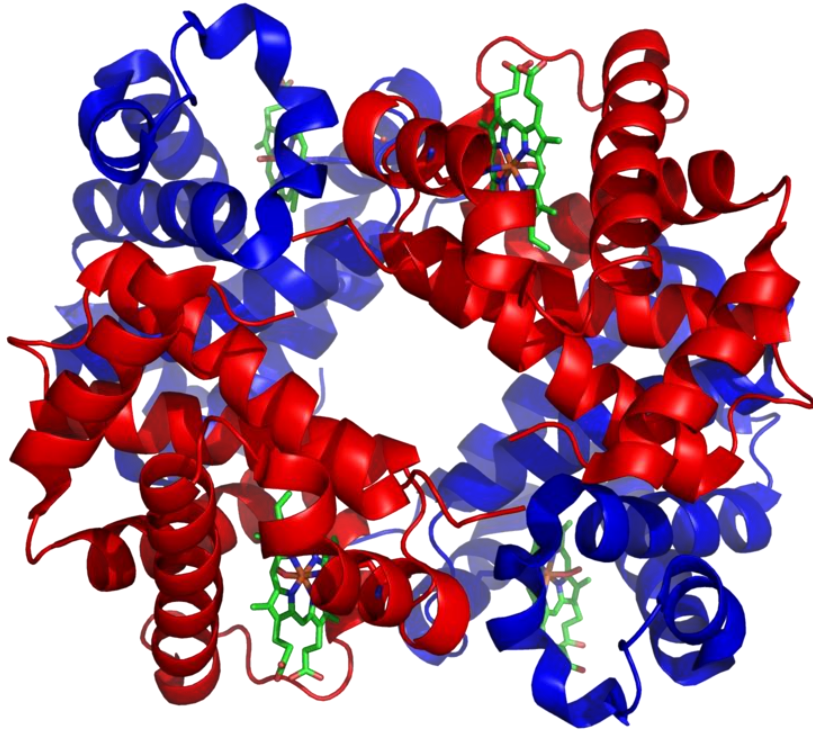


# Struttura terziaria



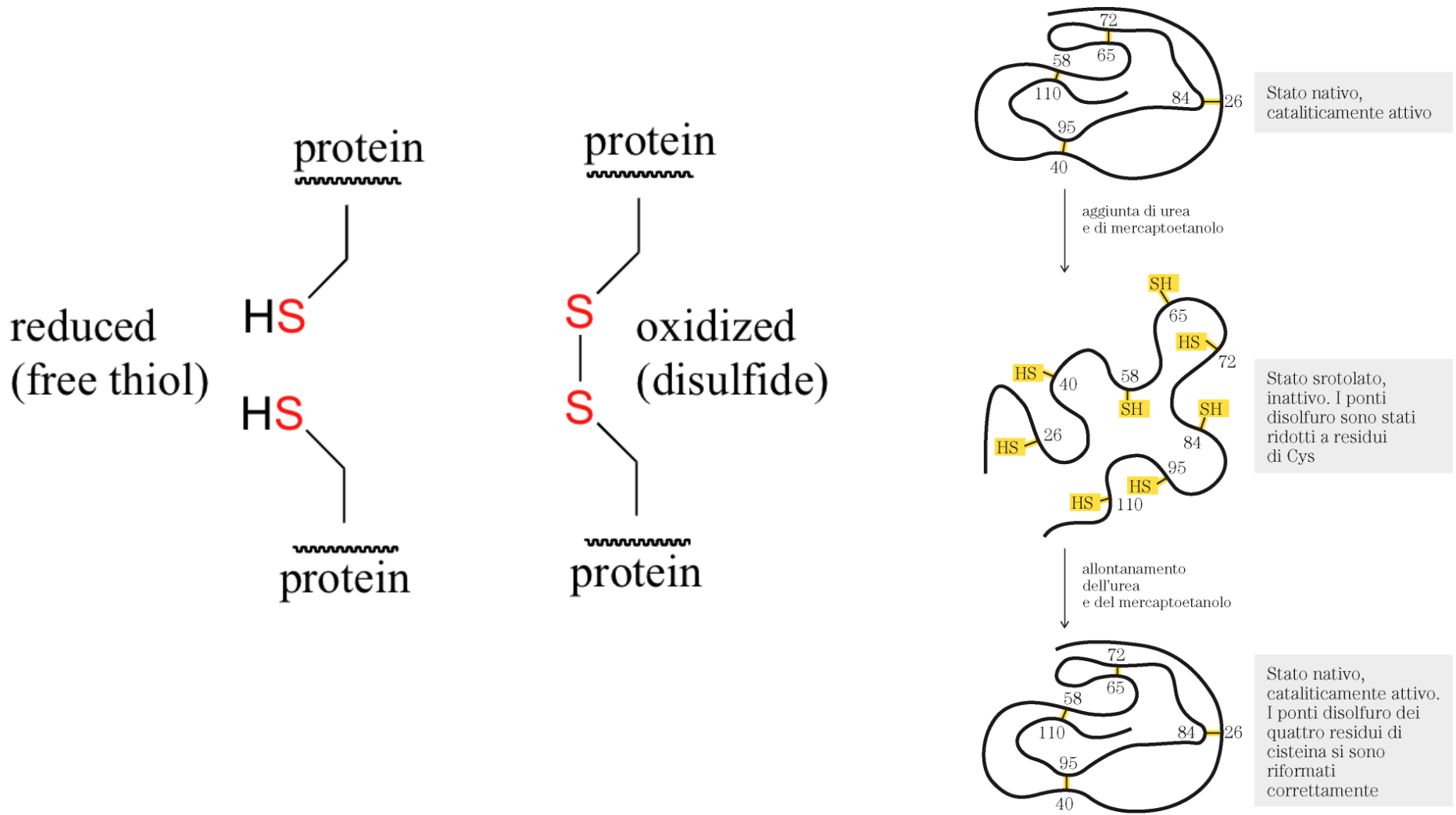
La struttura terziaria di una proteina è la sua organizzazione nello spazio e può essere composta da uno o più **domini**, che rappresentano un'organizzazione di più strutture secondarie con una specifica funzione biologica. La struttura terziaria è tenuta assieme da vari legami in genere non covalenti di varia forza, tra cui l'**effetto idrofobico**, il **legame idrogeno**, i **legami ionici** e le **interazioni dipolo-dipolo**.

# Struttura quaternaria



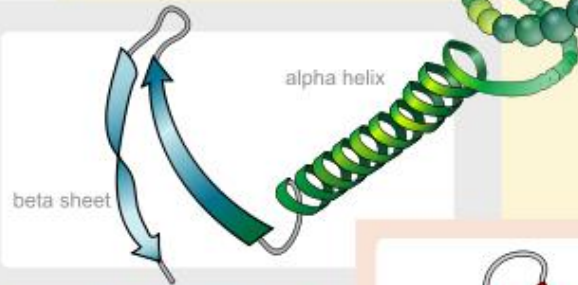
La **struttura quaternaria** è l'organizzazione spaziale di più molecole proteiche in complessi multi-subunità. Le proteine, uguali o diverse tra loro, assumono ciascuna la propria struttura terziaria, ma possono organizzarsi in strutture ancora più complesse interagendo tra loro: le interazioni possono essere legami deboli come legami idrogeno e forze di Van der Waals, oppure forti come il legame ionico.

# Stabilizzazione della struttura delle proteine: i ponti disolfuro

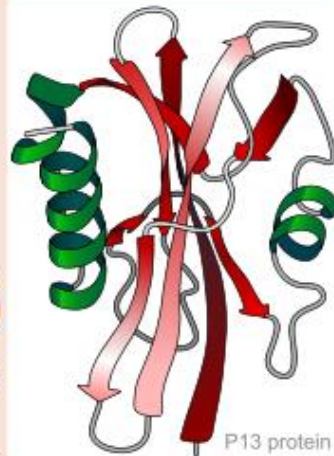


# Ordini di struttura delle proteine

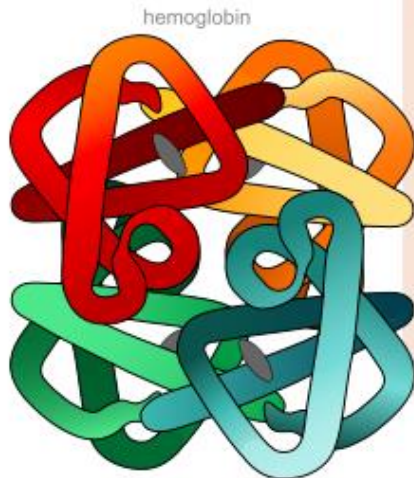
Primary structure  
amino acid sequence



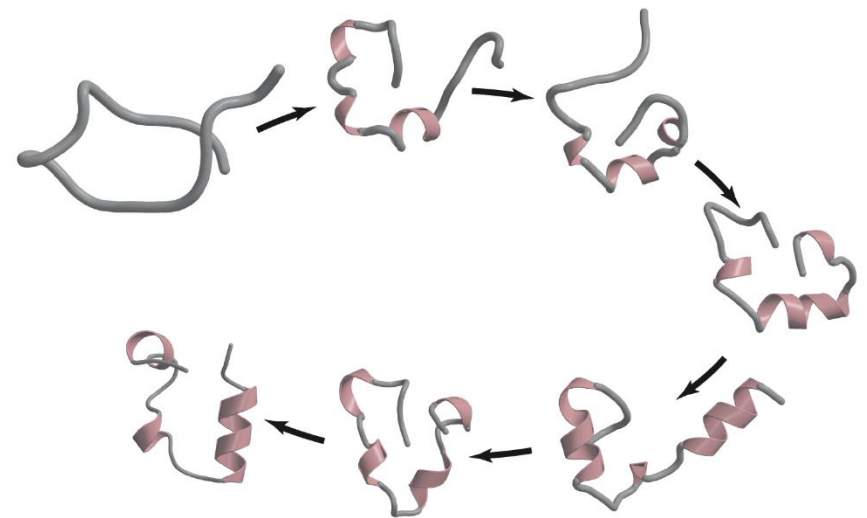
Secondary structure  
regular sub-structures



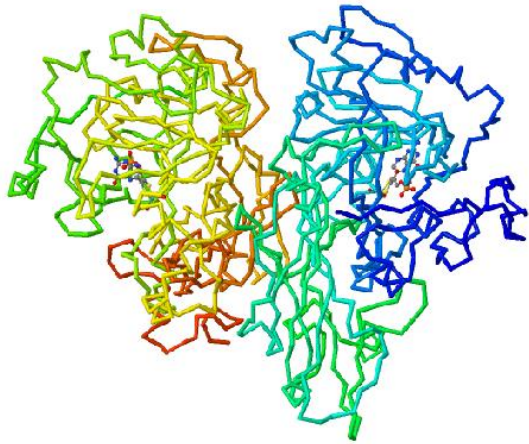
Tertiary structure  
three-dimensional structure



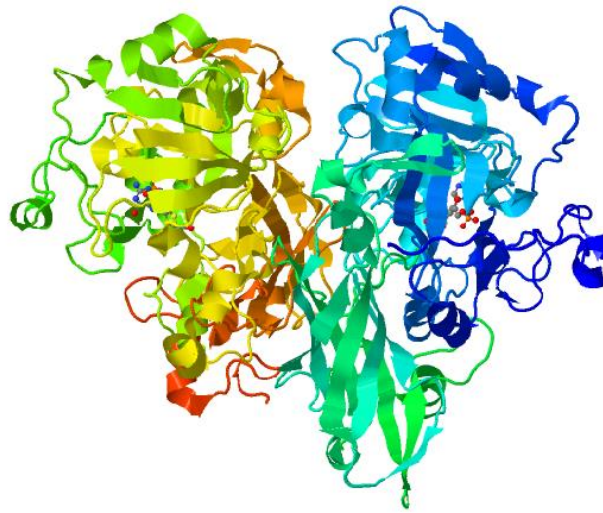
Quaternary structure  
complex of protein molecules



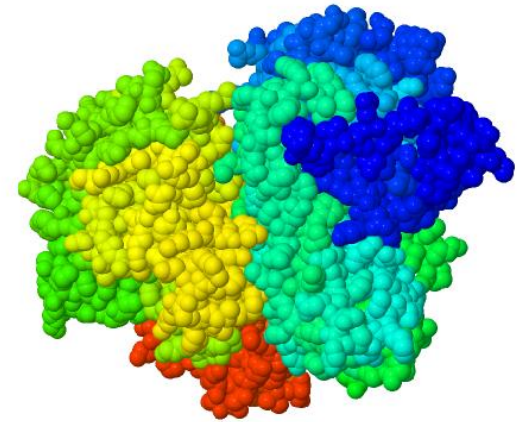
# Rappresentazioni della struttura delle proteine



Backbone



Ribbon



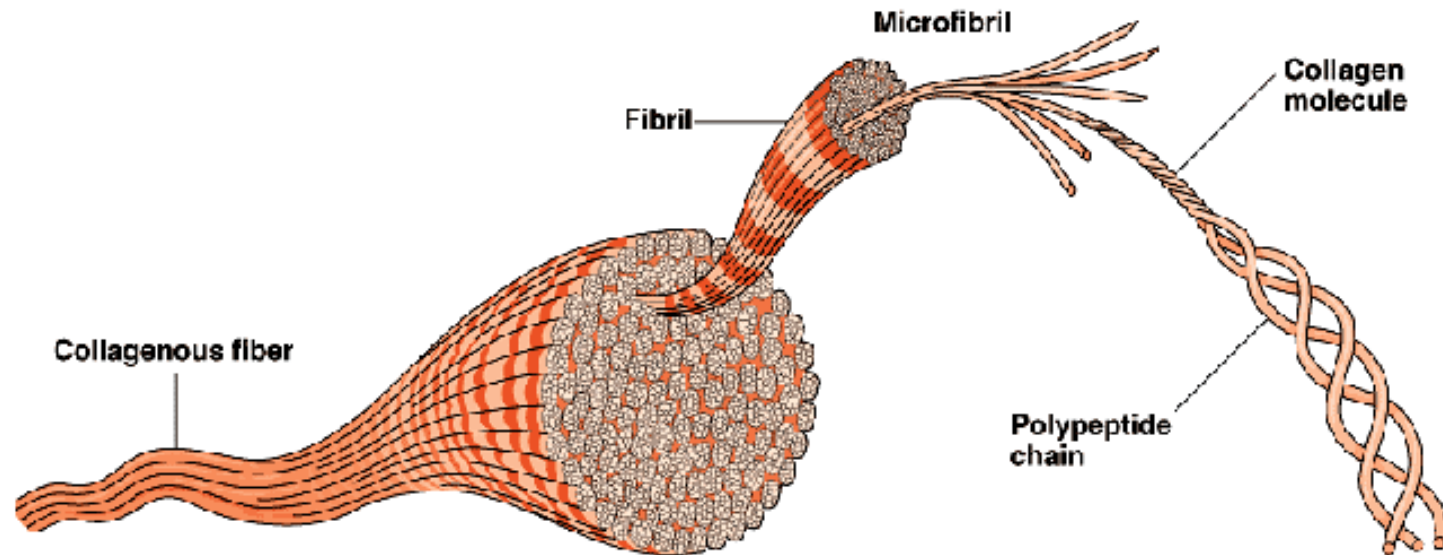
Space filling

***Nitrate Reductase***

# Un esempio: il collagene

Il **collagene** è la principale proteina del tessuto connettivo negli animali. È la proteina più abbondante nei mammiferi (circa il 25% della massa proteica totale), rappresentando nell'uomo circa il 6% del peso corporeo.

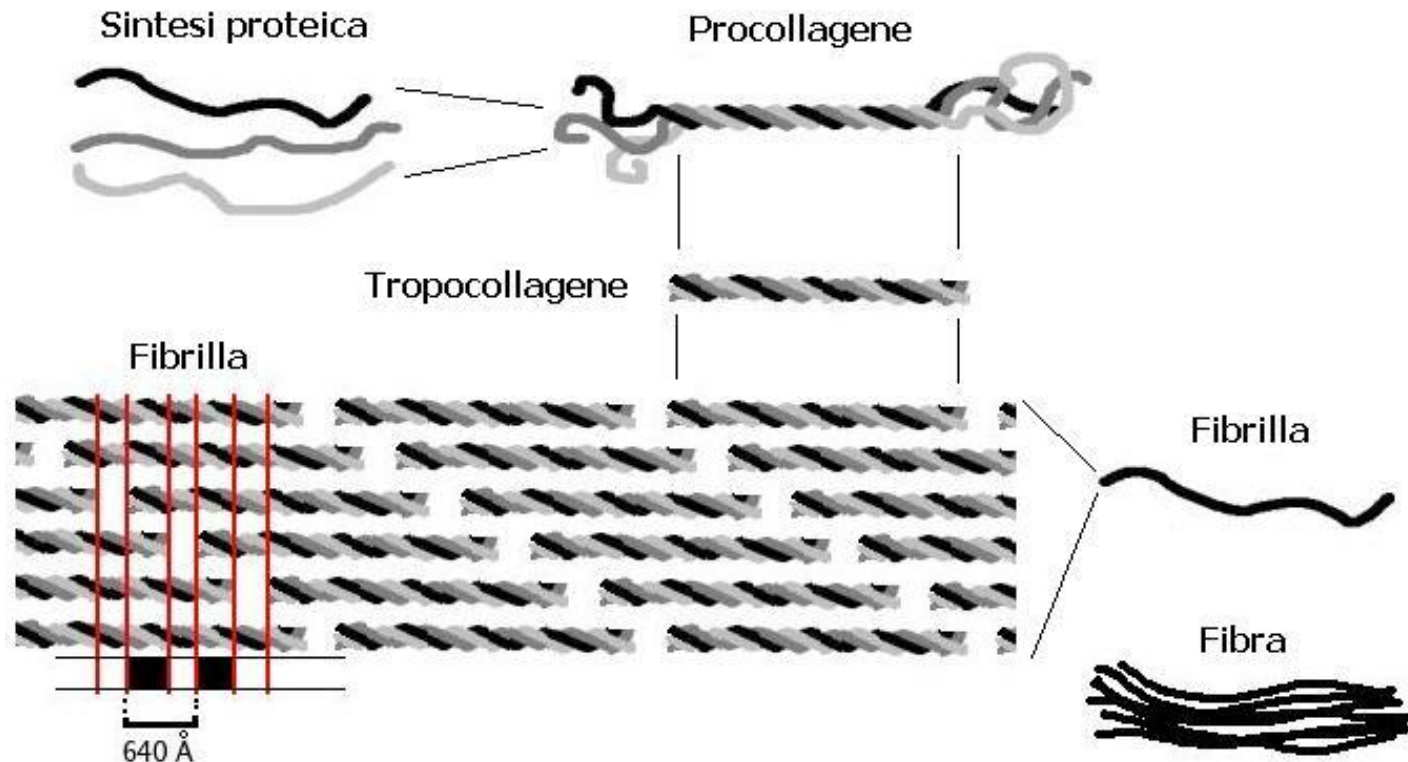
L'unità strutturale del collagene è rappresentata dal *tropocollagene*, una proteina con una massa molecolare di circa 285000 uma, formata da tre catene polipeptidiche che si associano a formare una tripla elica destrorsa.





# Le caratteristiche del collagene

Il collagene è una struttura rigida dovuta alla presenza di prolina o idrossiprolina. Tutte le unità di tropocollagene hanno la stessa lunghezza, e sono costituite da motivi amminoacidici ripetuti del tipo glicina-prolina-X e glicina-X-idrossiprolina, dove X è un qualsiasi altro amminoacido. I filamenti di tropocollagene sono tenuti insieme da legami idrogeno.

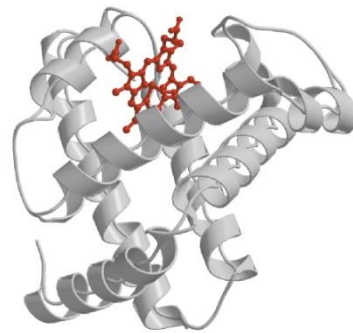


# II collagene

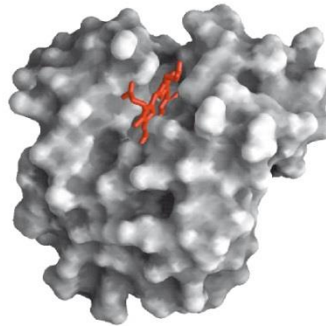


# Esempio: la mioglobina

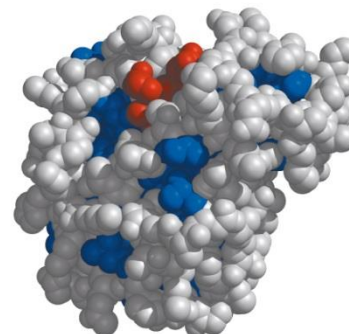
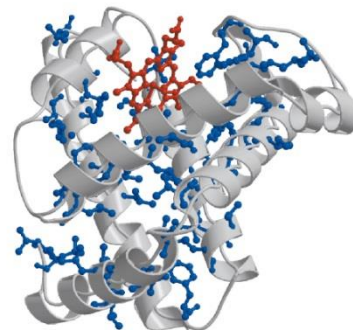
La mioglobina, favorisce una rapida diffusione dell'ossigeno nelle cellule muscolari, che richiedono che grosse quantità di ossigeno. Pertanto, si trova in grande quantità nei muscoli a cui conferisce il caratteristico colore rosso dovuto all'eme.



(a)



(b)

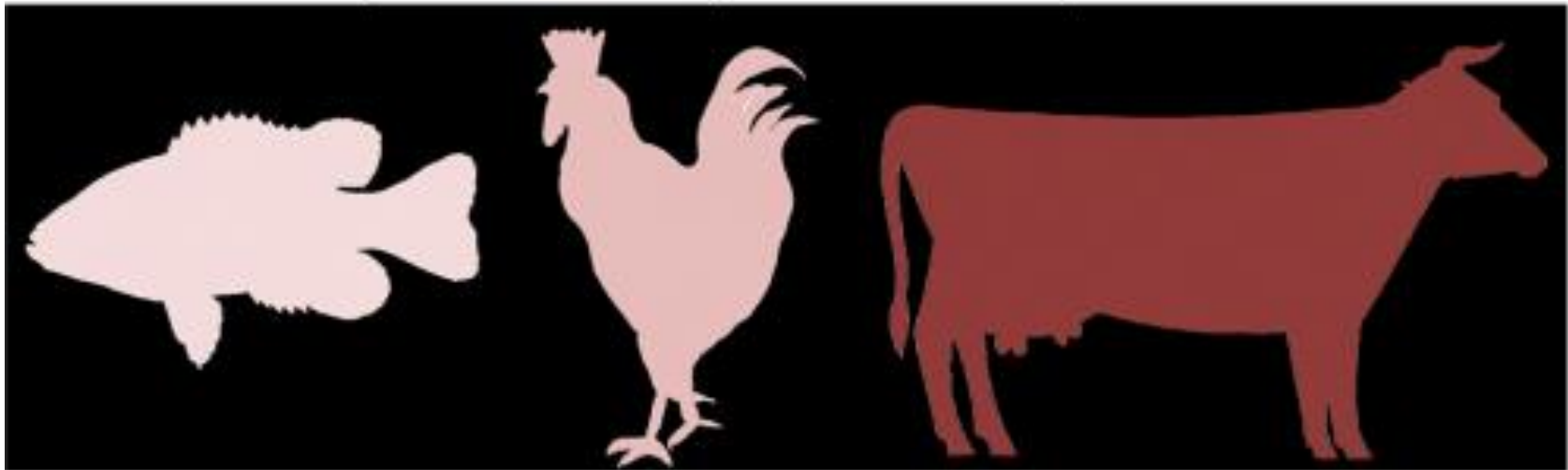


# Esempio: la mioglobina

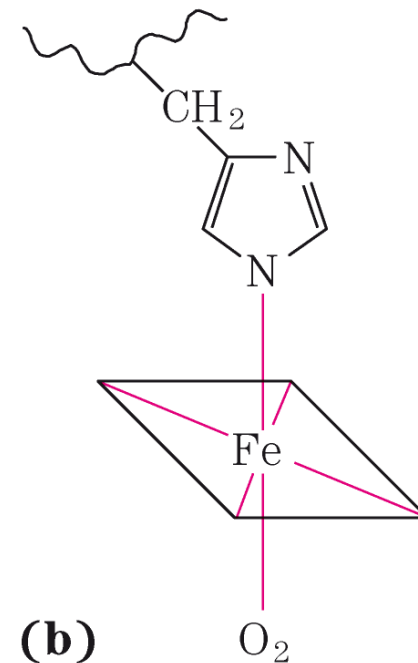
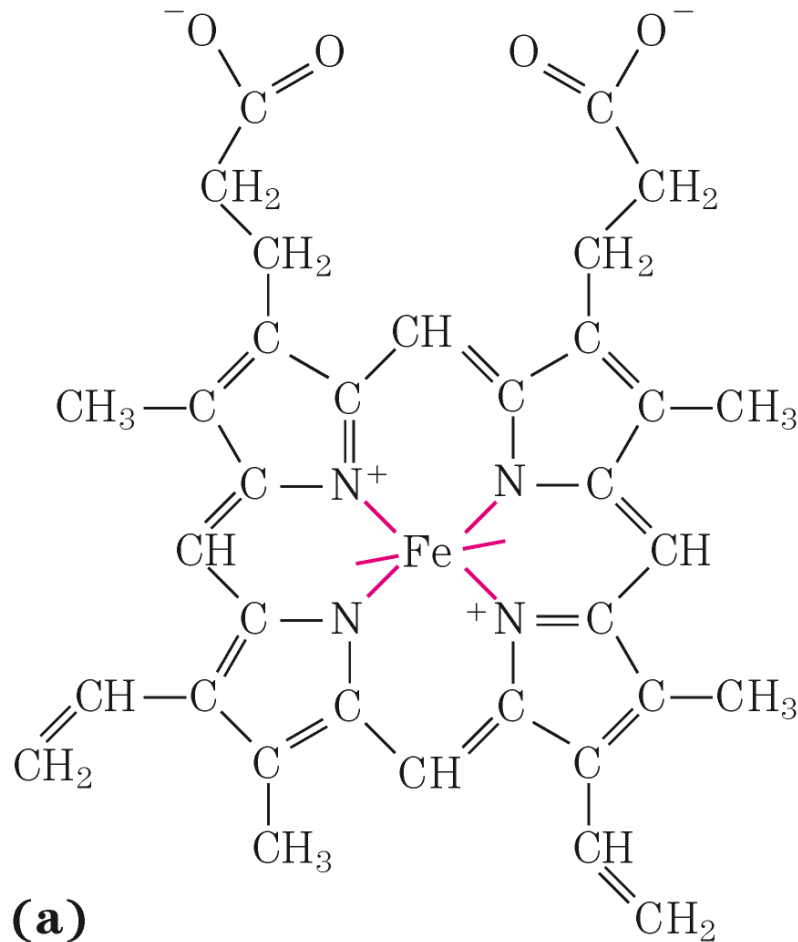


No myoglobin

Lots of myoglobin

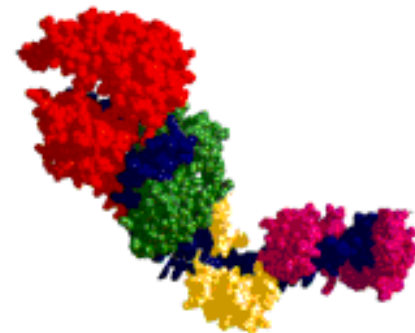
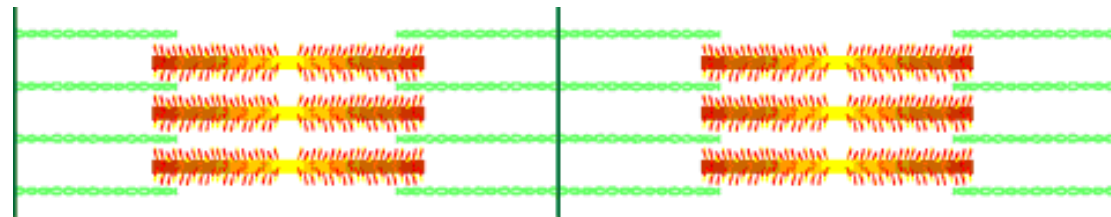
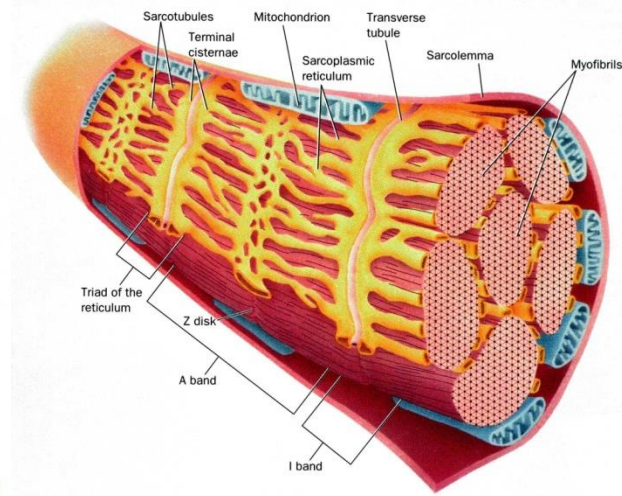
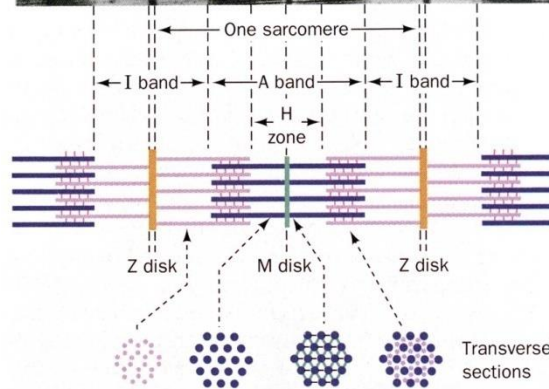
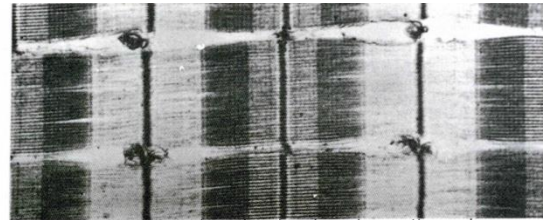


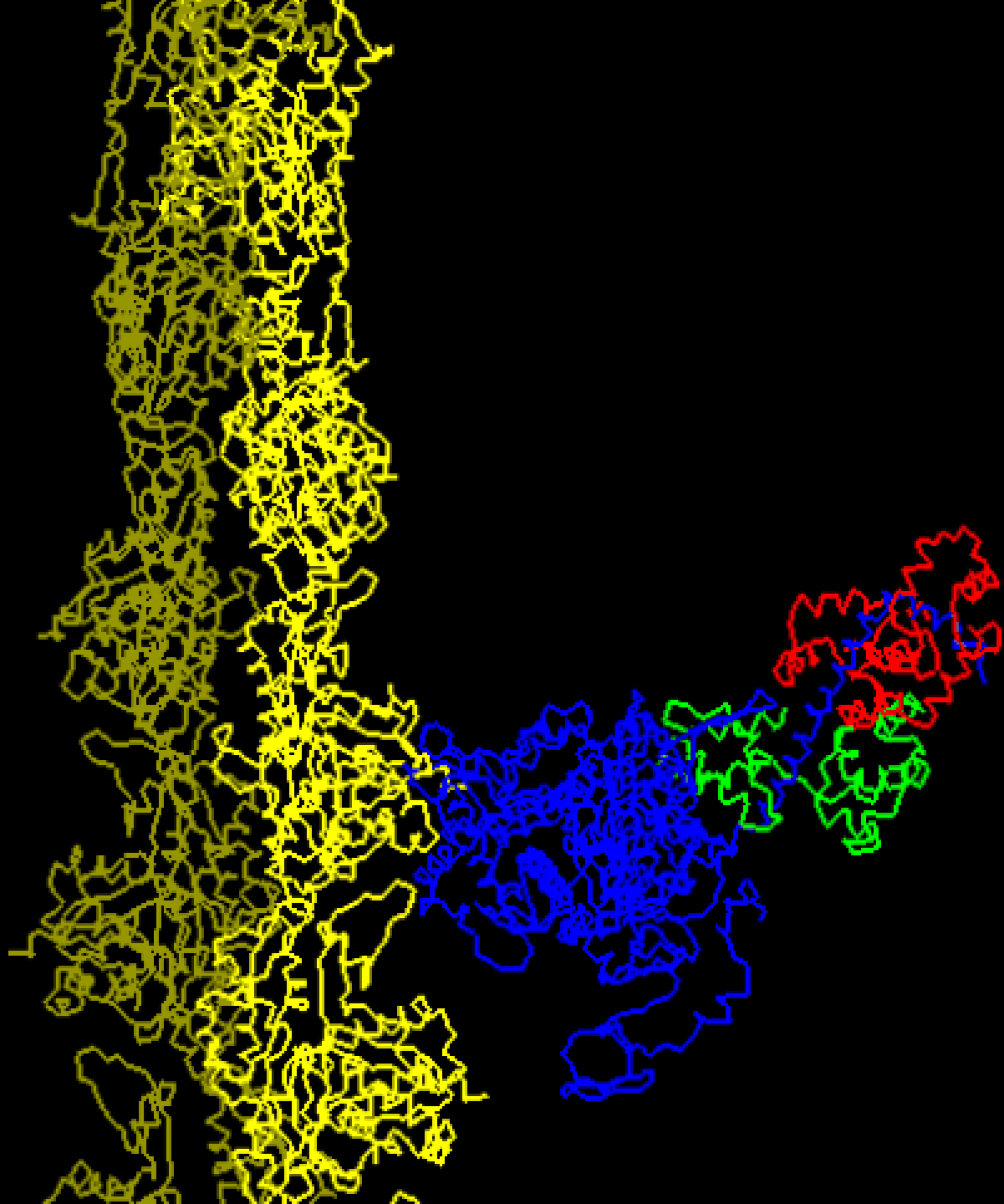
# I pigmenti respiratori contengono il gruppo eme



# Il muscolo

- Le principali proteine del muscolo sono l'actina e la miosina che costituiscono circa il 50 - 55 % delle proteine totali del muscolo e costituiscono le più importanti proteine della carne





# Le proteine del latte

- La caseina rappresenta il gruppo più importante di proteine del latte (2-3 % w/w)
- È costituita da fosfoproteine che precipitano a pH < 4.6 oppure in presenza di Ca<sup>2+</sup> per dare il formaggio
- Le altre proteine del latte che non precipitano rimangono nel siero
- La più importante proteina del siero di latte è la β-lattoglobulina che lega efficacemente il retinolo

<b>proteina</b>	<b>%</b>	<b>P per mole</b>	<b>SH per mole</b>	<b>S-S per mole</b>	<b>P.M.</b>	<b>pKa</b>
<b>Caseine tot</b>	<b>75-85</b>					
<b>α<sub>s1</sub> -caseina</b>	<b>45-55</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>23,500</b>	<b>4.6</b>
<b>β- caseina</b>	<b>25-35</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24,000</b>	<b>5.0</b>
<b>k-caseina</b>	<b>8-15</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>19,000</b>	<b>3.7 – 4.2</b>
<b>γ-caseina</b>	<b>3-7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20,000</b>	<b>5.8</b>



# Alcune proteine



Insulina  
M.W. 5700



Citocromo C  
M.W. 12500



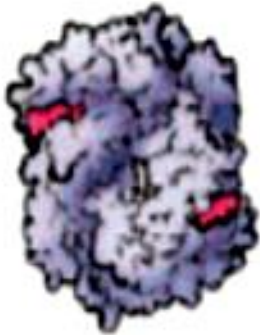
Ribonucleasi  
M.W. 12640



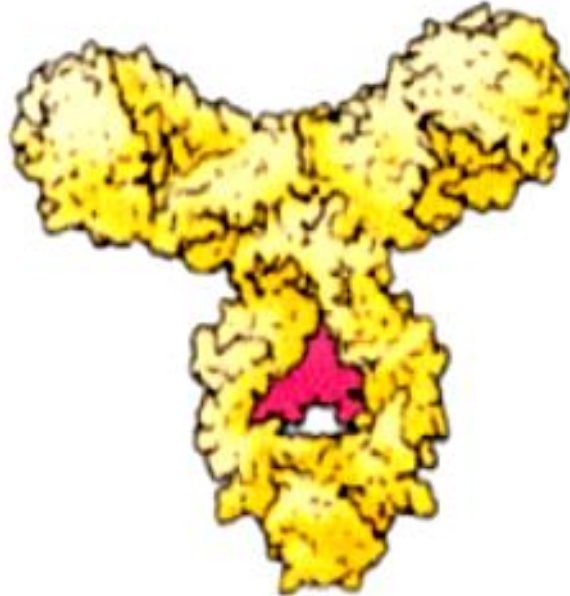
Lisozima  
M.W. 13930



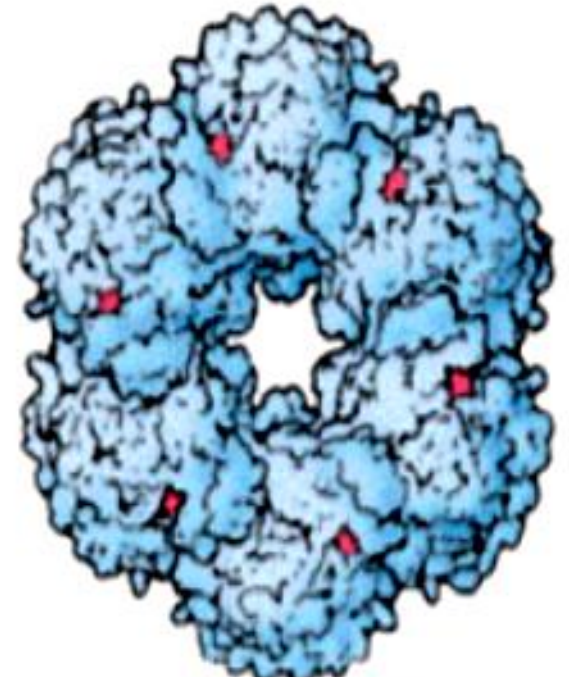
Mioglobina  
M.W. 16980



Emoglobina  
M.W. 64500



Immunoglobulina M.W. 149900



Glutamina sintetasi M.W. 600000

# Aspetti nutrizionali

- Il valore nutritivo delle proteine è determinato e limitato dalla presenza degli amminoacidi essenziali che, se presenti in quantità inferiore a quella richiesta, vengono detti amminoacidi limitanti

Amino acid	Children (2-5 years) mg/kg/day	Children (10-12 years) mg/kg/day	Adults (18 years and over) mg/kg/day	Adults (revised estimates) mg/kg/day
Isoleucine	31.0	28.0	10.0	23.0
Leucine	73.0	44.0	14.0	39.0
Lysine	64.0	44.0	12.0	30.0
Methionine/Cystine	27.0	22.0	13.0	15.0
Phenylalanine/Tyrosine	69.0	22.0	14.0	39.0
Threonine	37.0	28.0	7.0	15.0
Tryptophan	12.5	3.3	3.5	6.0
Valine	38.0	25.0	10.0	20.0
<b>TOTAL</b>	<b>351.5</b>	<b>216.3</b>	<b>83.5</b>	<b>187.0</b>

# Proteine alimentari

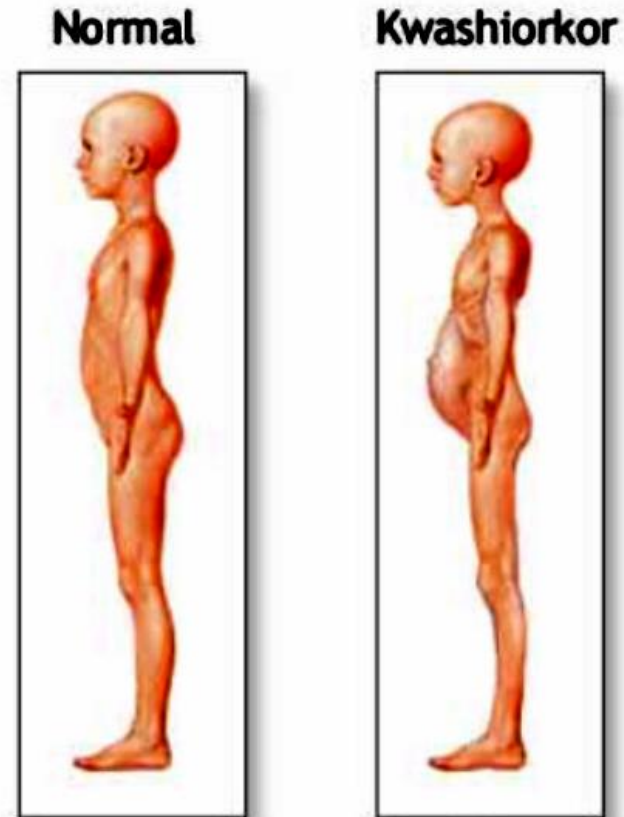
- **Proteine complete (nobili)**
  - Proteine di origine animale
- **Proteine incomplete**
  - Proteine vegetali (cereali hanno LYS e TRP in quantità limitate, legumi possiedono poca MET e CYS)

La qualità delle proteine alimentari dipende dalla loro **composizione in amminoacidi** e dall'**efficienza con cui vengono digerite**.

Sono stati proposti molti indici per valutare la qualità di una proteina.

# Insufficienze alimentari

- Kwashiorkor è una patologia derivante da un insufficiente apporto proteico



# Valore nutrizionale delle proteine

- Indici per valutare la qualità di una proteina
  - **Valore biologico:** frazione di composti azotati assorbiti che non vengono eliminati
  - **Coefficiente di utilizzazione digestiva (digeribilità):** frazione di composti azotati ingeriti che vengono assorbiti (Indica l'efficienza con la quale viene digerita la proteina in questione)
  - **Utilizzazione proteica netta:** frazione di composti azotati ingeriti che vengono utilizzati (valore biologico x digeribilità)  
Questo indice tiene conto sia dell'efficienza digestiva che del pattern amminoacidico.

# Valore biologico

È senz'altro il più importante, in quanto indica la quantità di azoto trattenuto dall'organismo per l'accrescimento e/o il mantenimento.

$$\text{Valore biologico} = \frac{N_{\text{trattenuto}}}{N_{\text{assorbito}}}$$

Dove

- $N_{\text{trattenuto}} = I - (F - F_0) - (U - U_0)$
- $N_{\text{assorbito}} = I - (F - F_0)$
- $I = N$  introdotto con la dieta
- $F = N$  fecale
- $F_0 = N$  fecale a dieta senza proteine
- $U = N$  nelle urine
- $U_0 = N$  nelle urine a dieta senza proteine

Da notare che al denominatore troviamo l'azoto (N) assorbito, quindi il valore biologico **non valuta la digestione delle proteine**, ma solo il suo pattern amminoacidico.

# Composizione delle proteine contenute negli alimenti

Tabella 26.5. Composizione in amminoacidi essenziali delle proteine del corpo umano (\*) e di alcune principali proteine alimentari (\*\*)

Amminoacido	mg.g <sup>-1</sup> proteina				
	Corpo umano	Farina di grano	Fagioli	Latte	Uova
Istidina	27	22	28	28	24
Isoleucina	35	40	42	60	63
Leucina	75	63	76	98	88
Lisina	73	26	72	79	70
Metionina + cisteina	35	35	19	34	56
Fenilalanina + tirosina	73	81	77	96	98
Treonina	42	27	39	45	49
Triptofano	12	11	10	14	16
Valina	49	43	46	67	72

(\*) Da: Davis et al. (1994); Da: Young e Pellet (1990)

# La denaturazione proteica

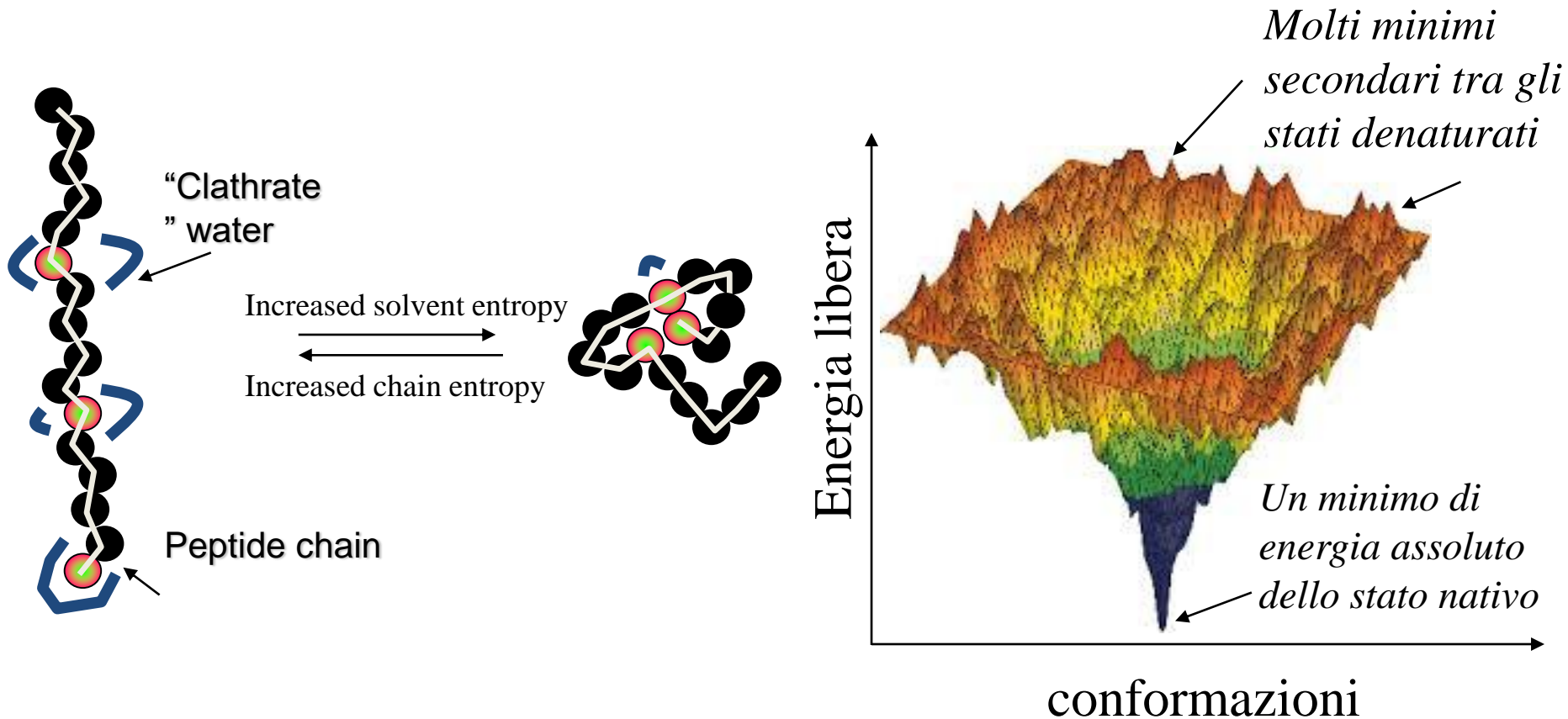
- La denaturazione coinvolge la trasformazione di una proteina a struttura ben definita che viene prodotta in condizioni fisiologiche ad una struttura disordinata e, generalmente, meno compatta che si forma in condizioni non fisiologiche.
  - Avviene improvvisamente e completamente in un ristretto intervallo di condizioni (temperatura, pH, forza ionica, forze di stiramento, solventi organici)
  - È un processo irreversibile



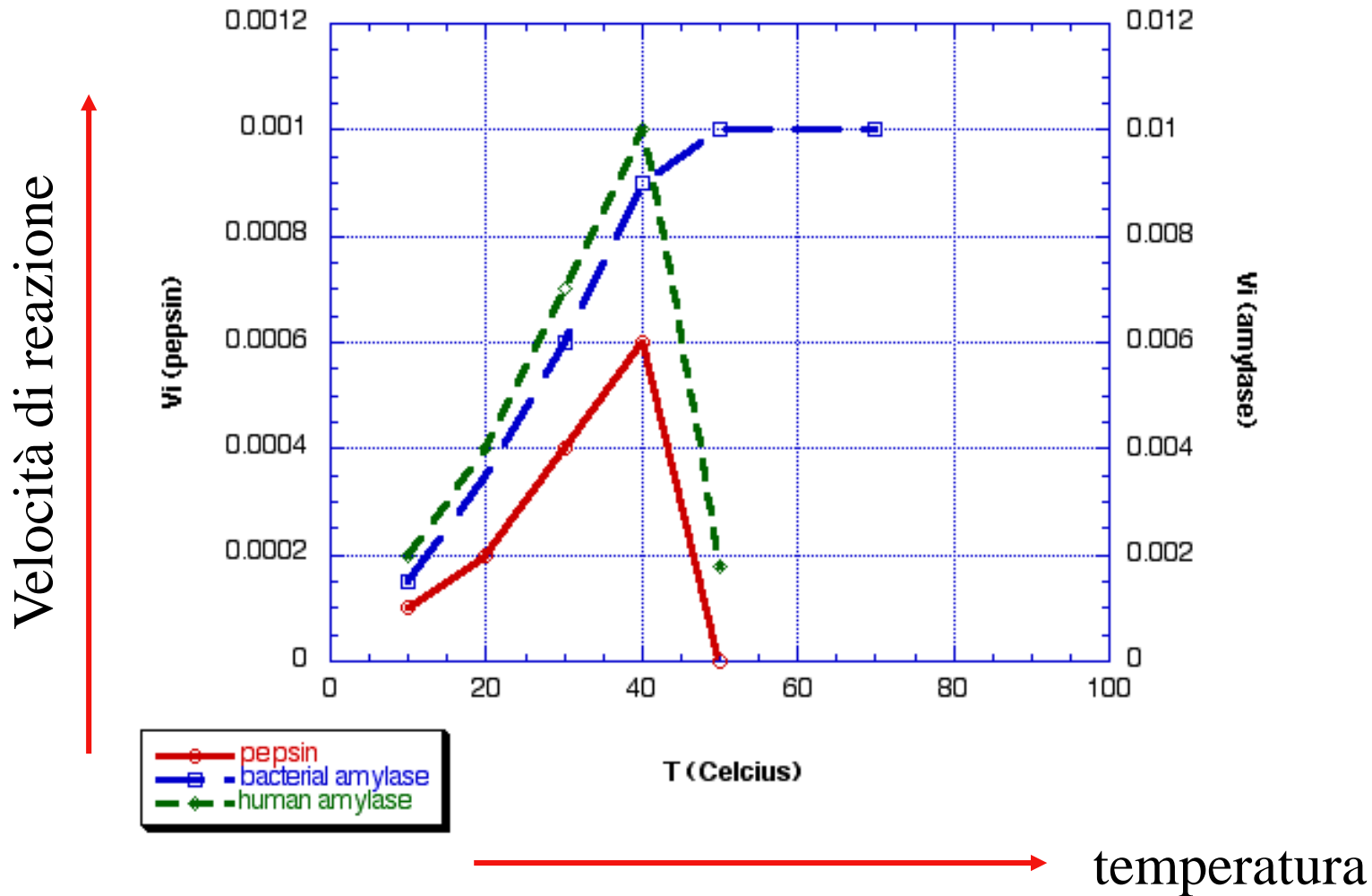
# Denaturazione proteica

La conformazione tridimensionale delle proteine è mantenuta interazioni deboli (interazioni idrofobiche, legami idrogeno, ponti salini, etc.)

La denaturazione è un fenomeno cooperativo dove ogni parziale perdita di compattezza destabilizza la parte strutturata rimanente della proteina, che velocemente collassa a random coil.



# Effetto della temperatura sulla velocità della reazione enzimatica

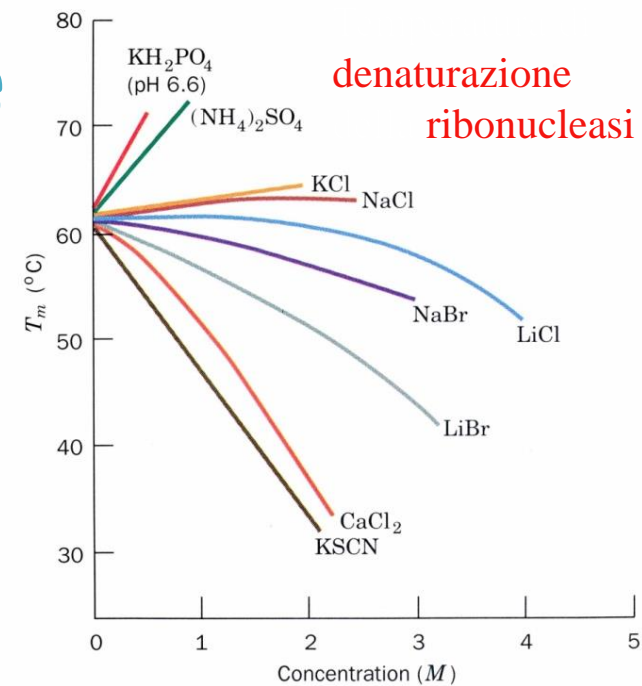


# Temperatura di denaturazione di alcune proteine

Proteina

temperatura di denaturazione

- Tripsinogeno 55°C
- Pepsinogeno 60°C
- Lisozima 72°C
- Mioglobina 79°C
- Glicinina di soia 92°C
- Globulina di avena 108°C



*Influenzate da pH, contenuto d'acqua e di sali*

# Conseguenze della denaturazione

- Perdita dell'attività enzimatica o biologica
- Aggregazione delle proteine
- Distruzione degli agenti patogeni e delle tossine
- Miglioramento della digeribilità
- Diminuzione della solubilità
- Cambiamento dell'aspetto e della tessitura dell'alimento

# Punto isoelettrico

- Il **punto isoelettrico (pI)** è il valore di pH al quale la proteina presenta carica elettrica netta nulla.
- Dipende dalla natura degli amminoacidi che compongono la proteina
- Se il pH è più acido del **punto isoelettrico**, la **proteina** reca una carica positiva, per pH più alcalini la carica **della proteina** è negativa.

