

CHIMICA GENERALE

Corso A

Anno Accademico 2024-2025

Docente: Prof. Francesco Pineider

Email: francesco.pineider@unipi.it

*Indirizzo: Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Via Moruzzi 13*

Le Interazioni Intermolecolari

Capitolo 9



Le Forze Intermolecolari

Forze **INTRAMOLECOLARI**

Tengono insieme gli atomi all'interno delle molecole

Forze di legame

- Legame ionico
- Legame covalente

930 kJ

*Energia richiesta per rompere tutti i legami
in 1 mole di acqua (**INTRA**)*

Forze **INTERMOLECOLARI**

Forze che si instaurano fra le molecole

1. Forze di van der Waals

- Forze dipolo-dipolo (tra cui legame a idrogeno)
- Forze dipolo-dipolo indotto
- Forze di dispersione (forze di London, dipolo indotto-dipolo indotto)

2. Forze elettrostatiche

- Forze ione-dipolo

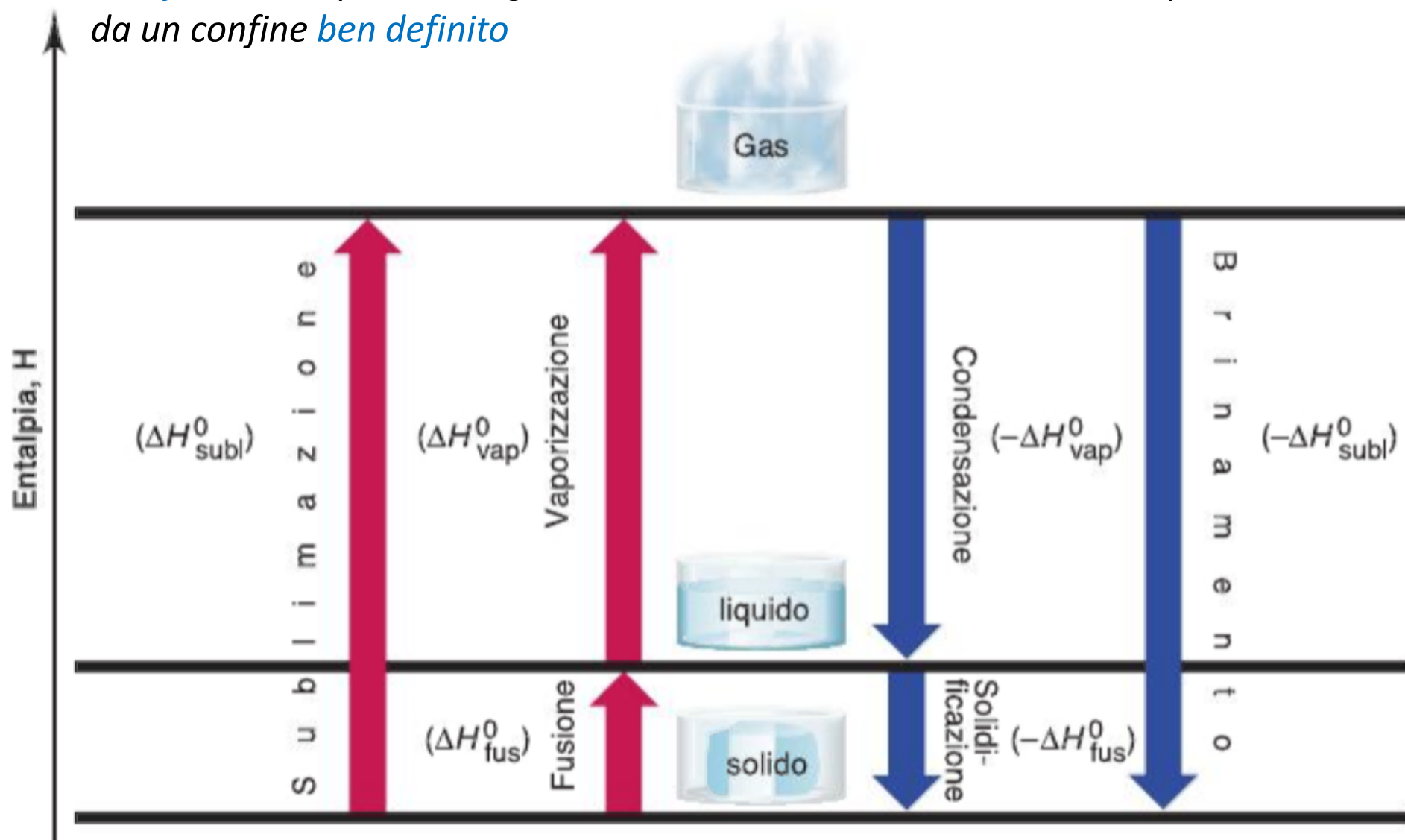
41 kJ

*Energia richiesta per vaporizzare 1 mole di acqua (**INTER**)*

Le Forze Intermolecolari

Forze intermolecolari e passaggi di stato

Una *fase* è una parte omogenea di un sistema in contatto con altre parti del sistema ma da esse *separata* da un confine *ben definito*



Le Forze Intermolecolari

Effetti delle forze intermolecolari

Le interazioni intermolecolari sono alla base

- di molte *proprietà* dei composti puri
- dei *comportamenti relativi* delle molecole in soluzione
- della *forma* di macromolecole biologiche in soluzione e della loro *attività biologica*

“Misura” delle forze intermolecolari

Punto di ebollizione

Punto di fusione

$$\Delta H_{\text{vap}}$$

$$\Delta H_{\text{fus}}$$

$$\Delta H_{\text{sub}}$$

Tensione di vapore

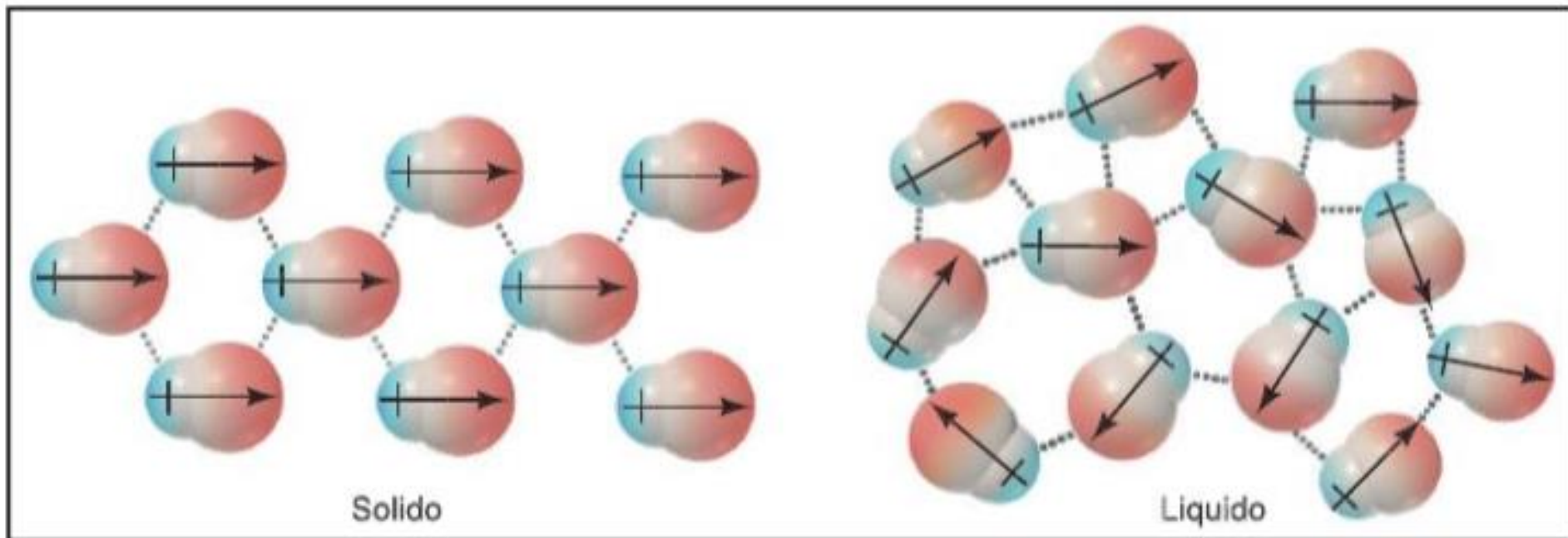
Viscosità

Tensione superficiale

Le Forze di van der Waals

Forze dipolo-dipolo

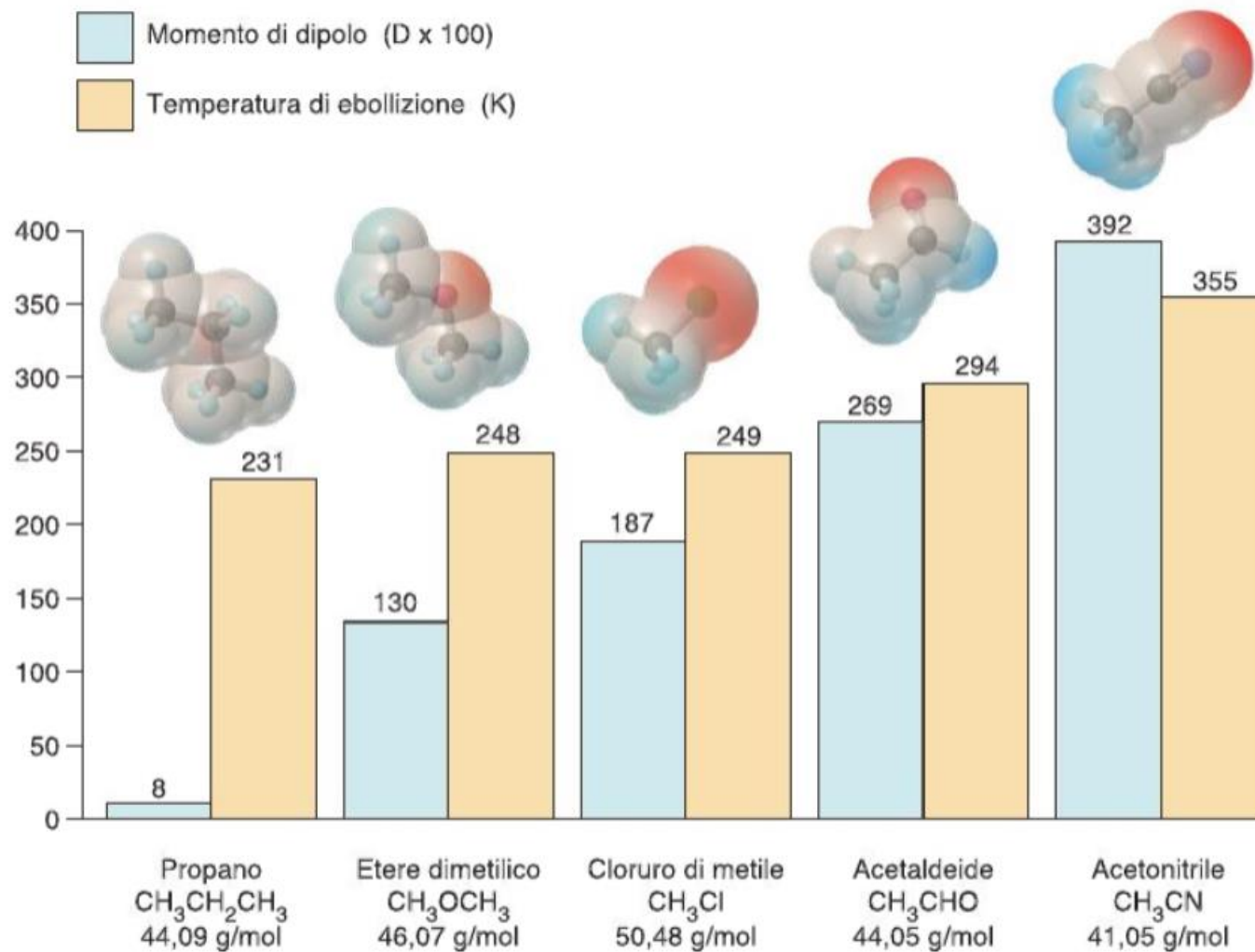
Forze *attrattive* tra di dipoli di *molecole polari*



Le Forze di van der Waals

Forze dipolo-dipolo

Relazione tra *momento di dipolo* e *temperatura di ebollizione*



Tra molecole polari le interazioni di *van de Waals* sono *più forti*, quindi la *temperatura di ebollizione* è *più alta*

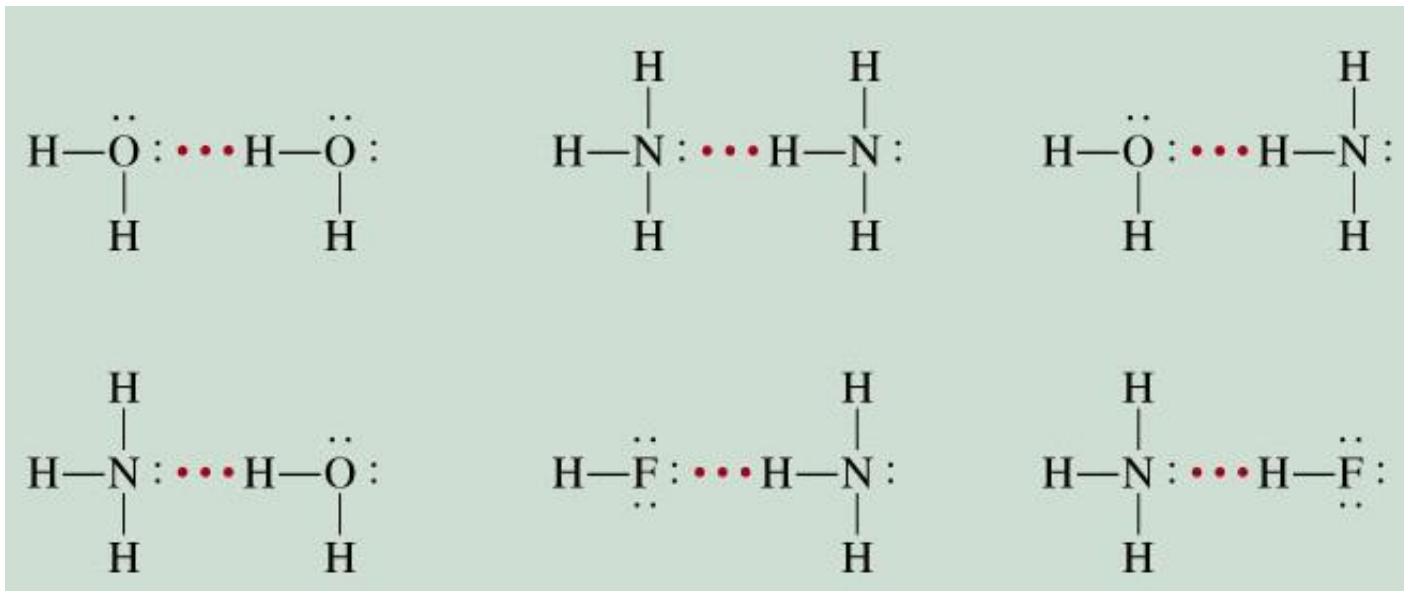
Le Forze di van der Waals

Legame a idrogeno

Il legame idrogeno è una *speciale interazione dipolo-dipolo* tra l'atomo di *idrogeno* coinvolto in un legame polare, come N-H, O-H o F-H, e un *atomo elettronegativo* O, N o F



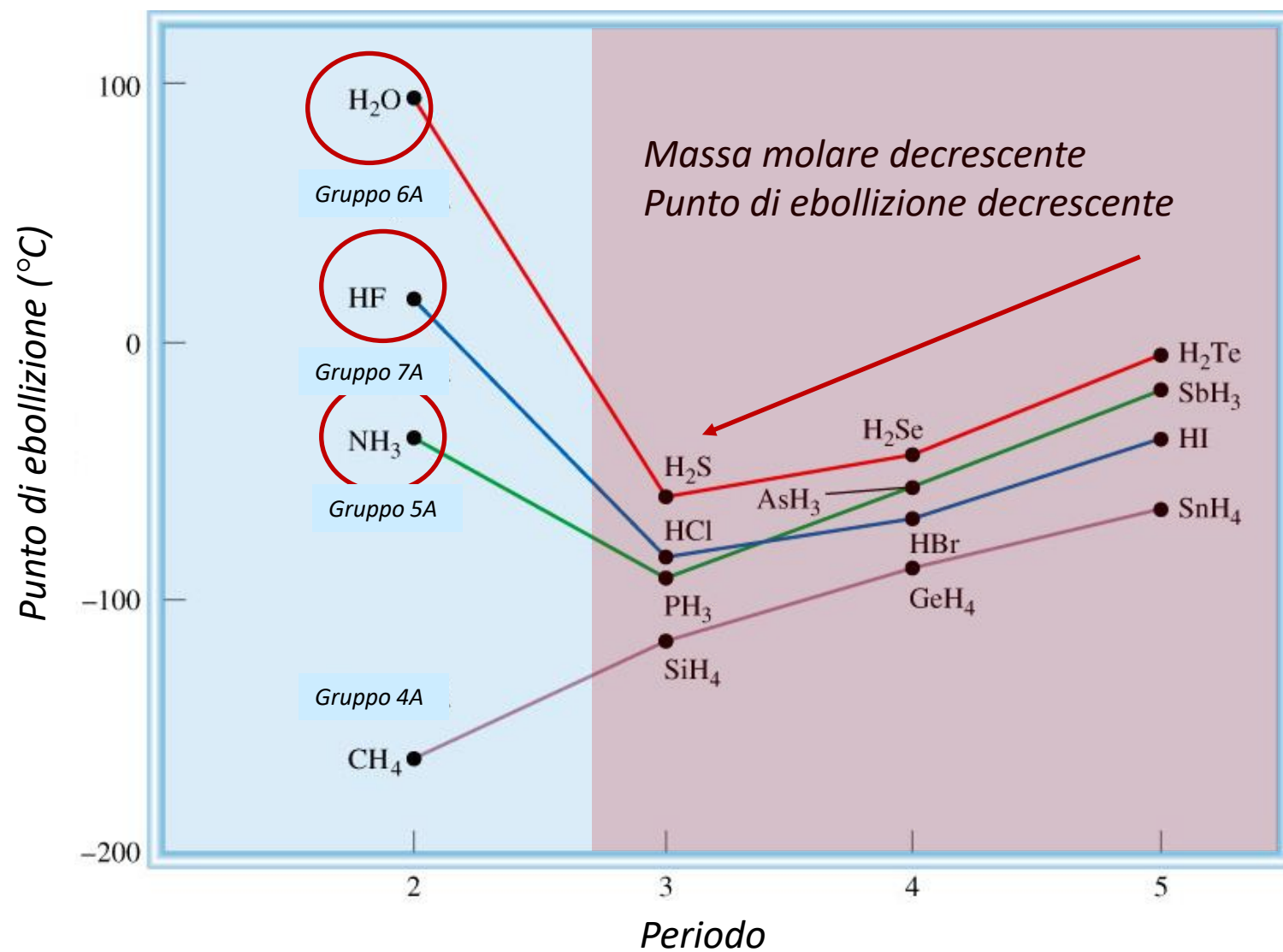
A e B sono N, O, o F



Le Forze di van der Waals

Legame a idrogeno

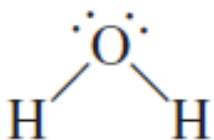
Perchè il legame idrogeno è considerato una “speciale” interazione dipolo-dipolo?



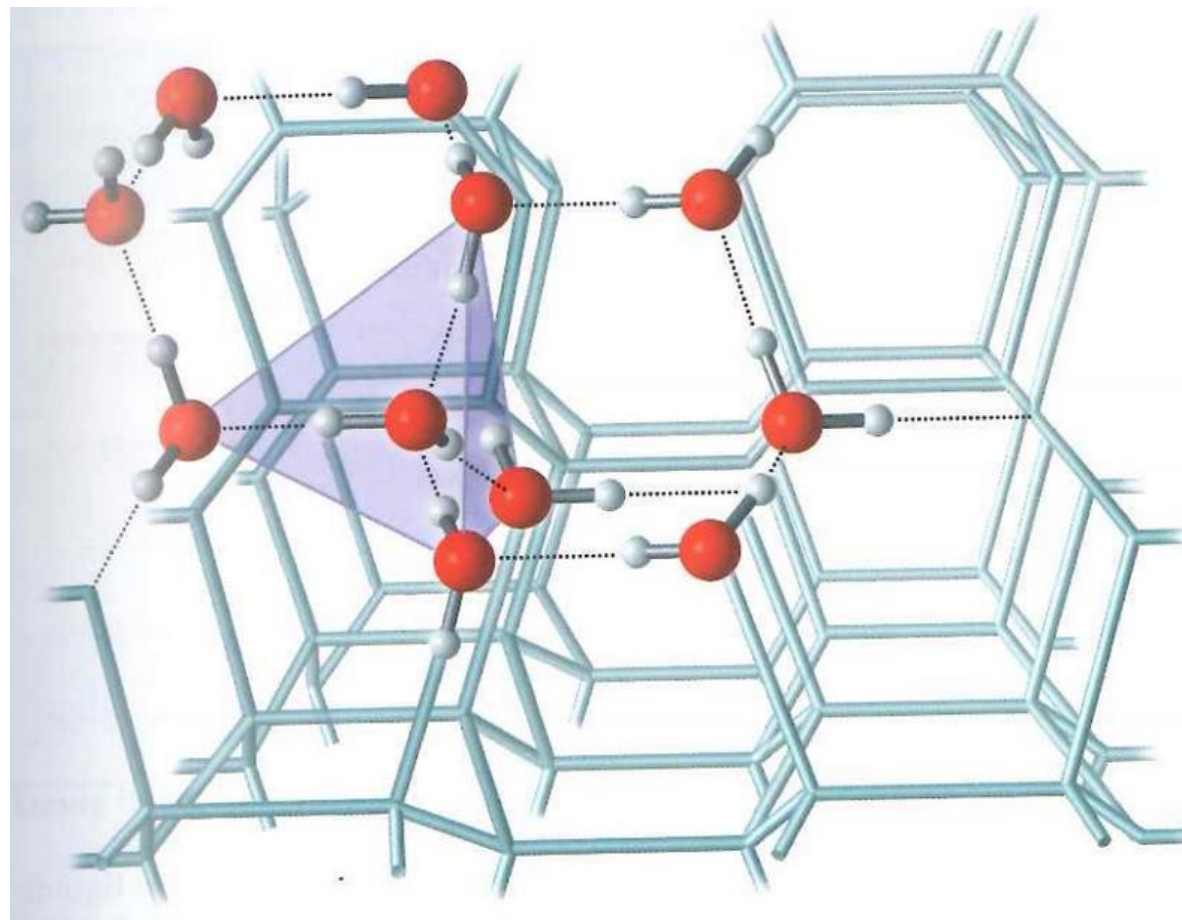
Le Forze di van der Waals

Legame a idrogeno

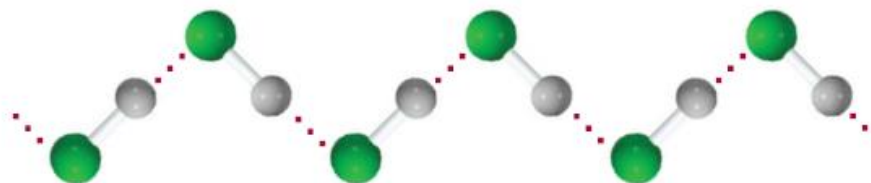
Nell'*acqua* ciascun atomo di ossigeno può formare 2 *legami a idrogeno* per la presenza di due coppie elettroniche non di legame



Le molecole d'acqua nel *ghiaccio* sono disposte in un reticolo tridimensionale in cui l'atomo di ossigeno è legato, con geometria tetraedrica, a *due atomi di idrogeno con legami covalenti* e a *due atomi di idrogeno con legami a idrogeno*



L'*acido fluoridrico* forma *catene*

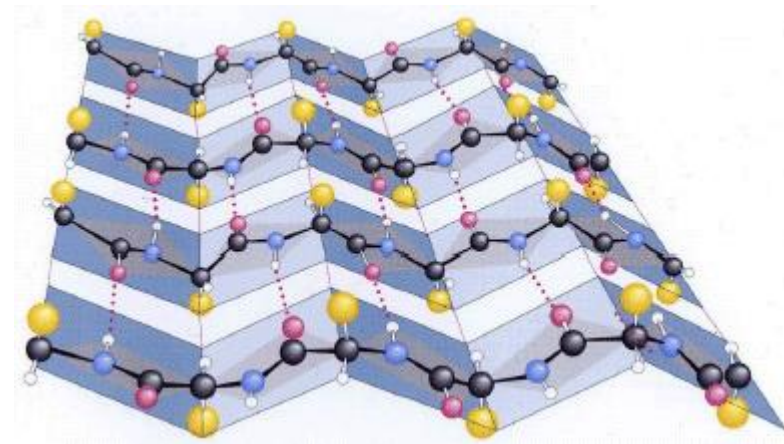
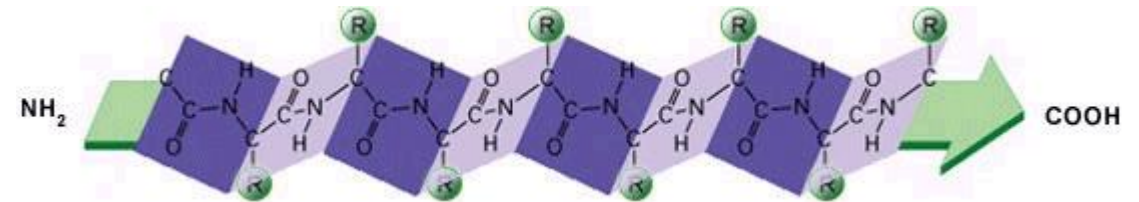
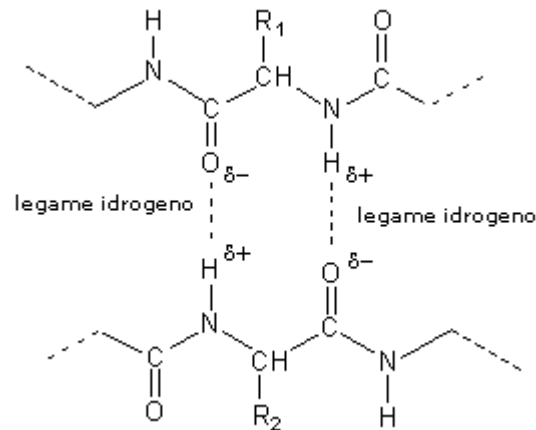
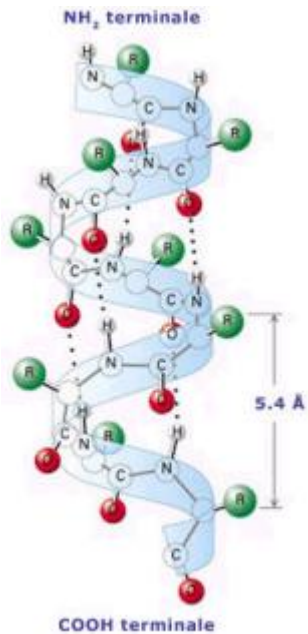


Le Forze di van der Waals

Legame a idrogeno

Il legame a idrogeno e la struttura delle macromolecole biologiche

Vi sono diversi tipi di configurazioni secondarie, tutte rese stabili da **PONTI IDROGENO** che si instaurano tra i gruppi peptidici che la torsione interna del filamento porta uno di fronte all'altro (l'idrogeno fa da ponte tra due elementi molto elettronegativi: l'azoto e l'ossigeno)

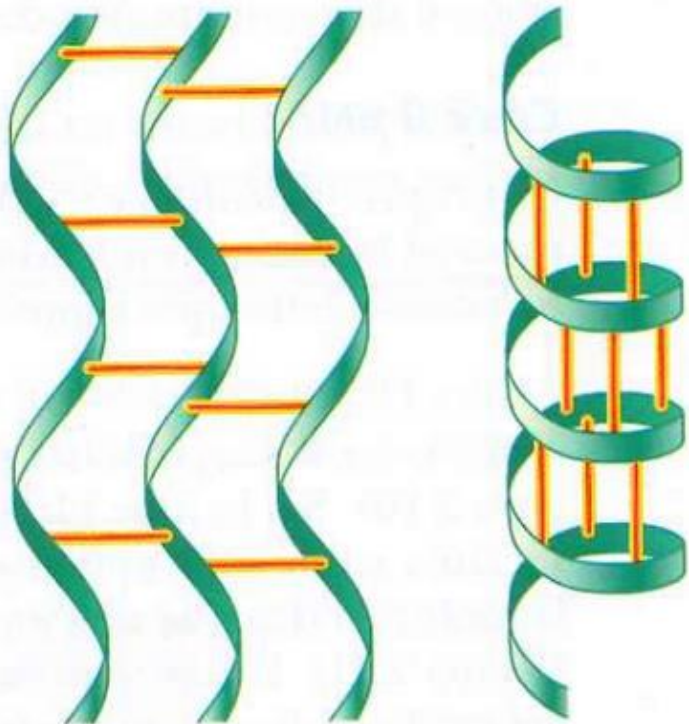


Le Forze di van der Waals

Legame a idrogeno

Il legame a idrogeno e la struttura delle macromolecole biologiche

Tipi di legami idrogeno nelle proteine



Intercatena

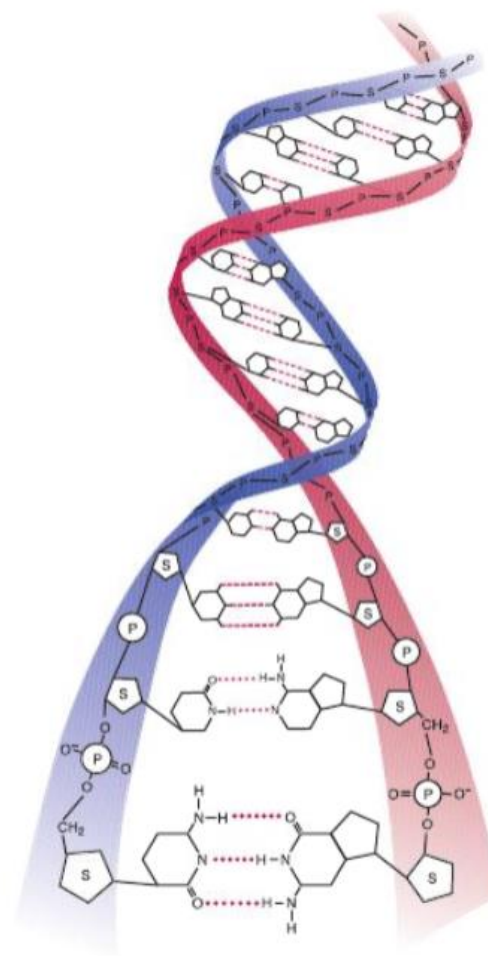
Intracatena

Legami idrogeno tra le catene del DNA a doppia elica

— = Legami idrogeno



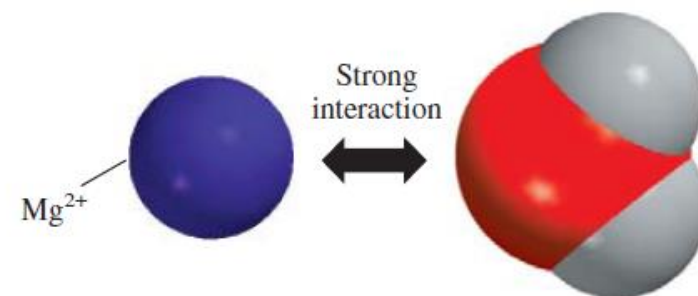
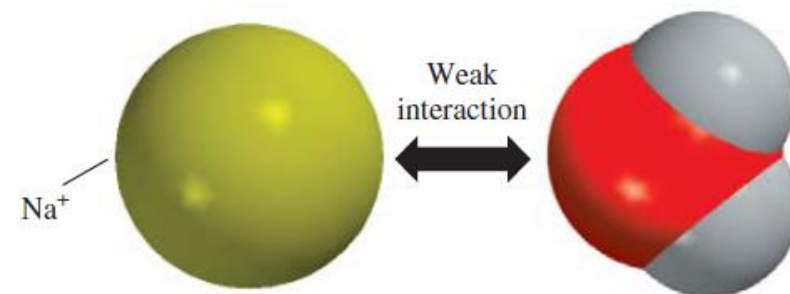
Intercatena



Le Forze Ione-Dipolo

Forze attrattive tra uno ione e una molecola polare

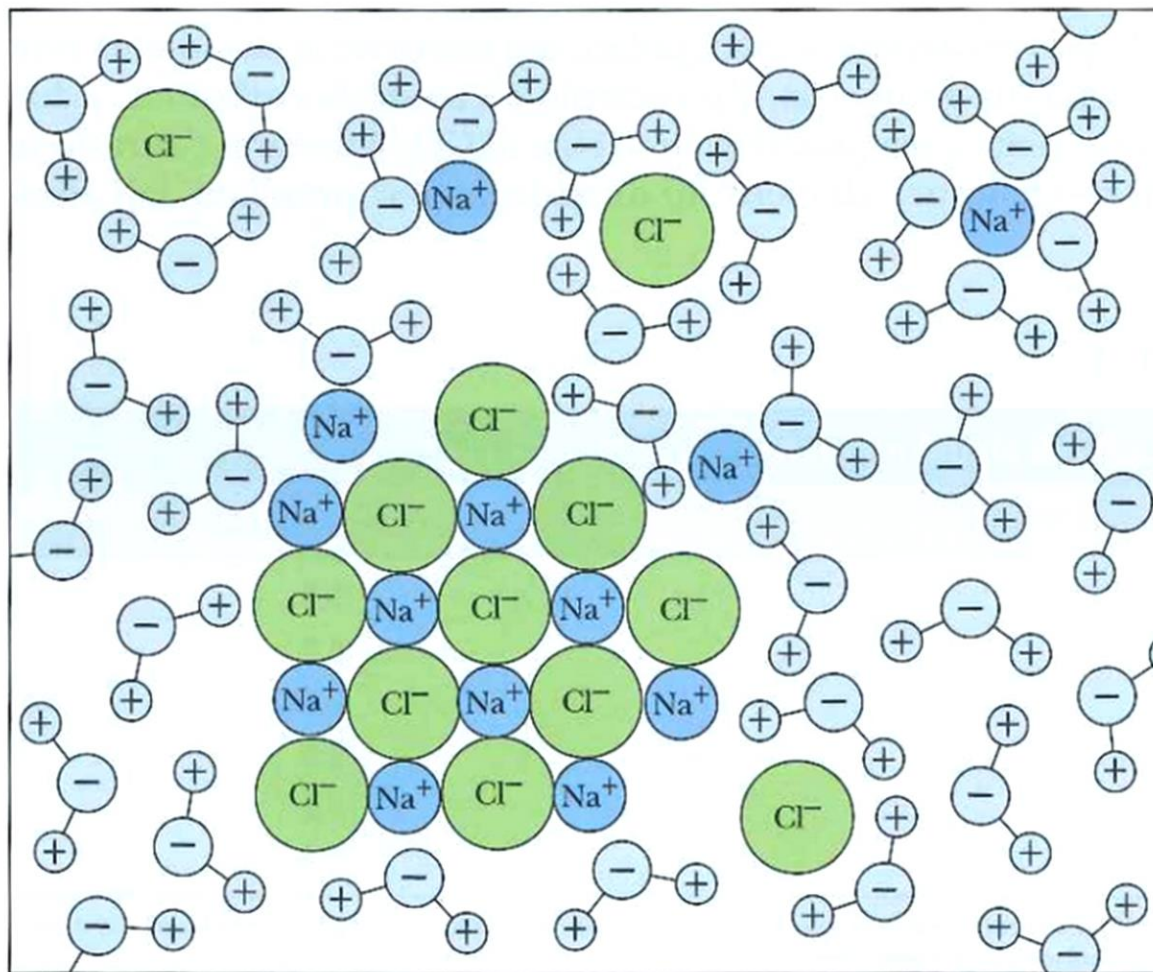
Interazione ione - dipolo



A parità di carica, sono più forti per ioni più piccoli

Le Forze Ione-Dipolo

Effetti delle forze ione-dipolo



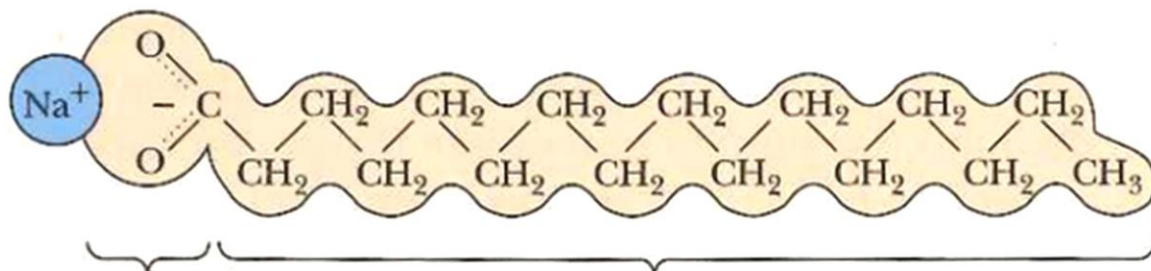
Le interazioni ione-dipolo determinano

*l'alta tendenza di molti sali a **dissolversi in acqua** (molecola polare)*

Le Forze Ione-Dipolo

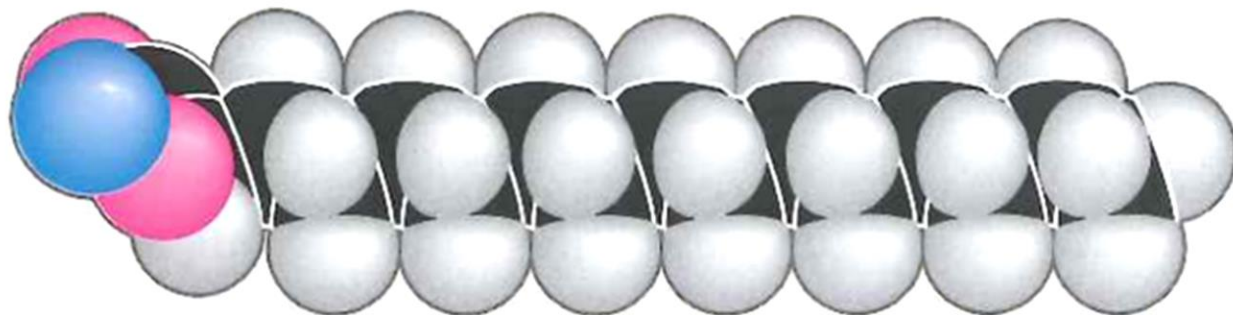
Effetti delle forze ione-dipolo

Il sale sodico dell'acido palmitico: il sodio palmitato
($\text{Na}^+ - \text{OOC}(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$)

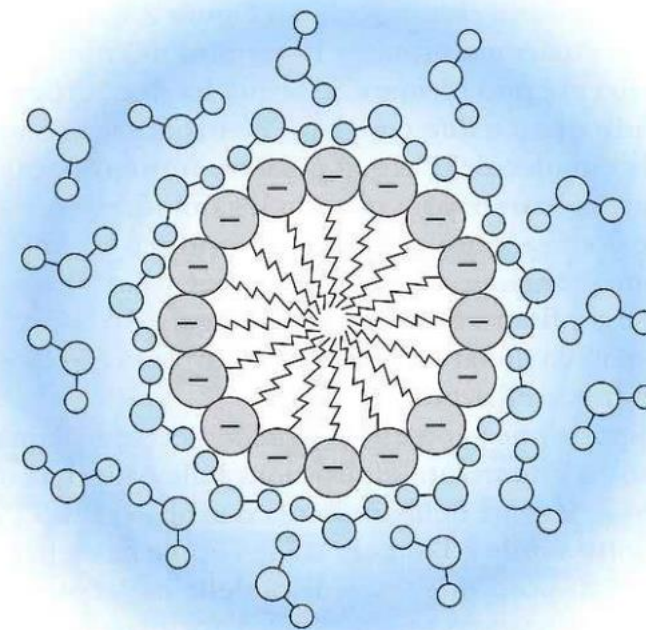


Testa
polare

Coda non polare



MICELLA

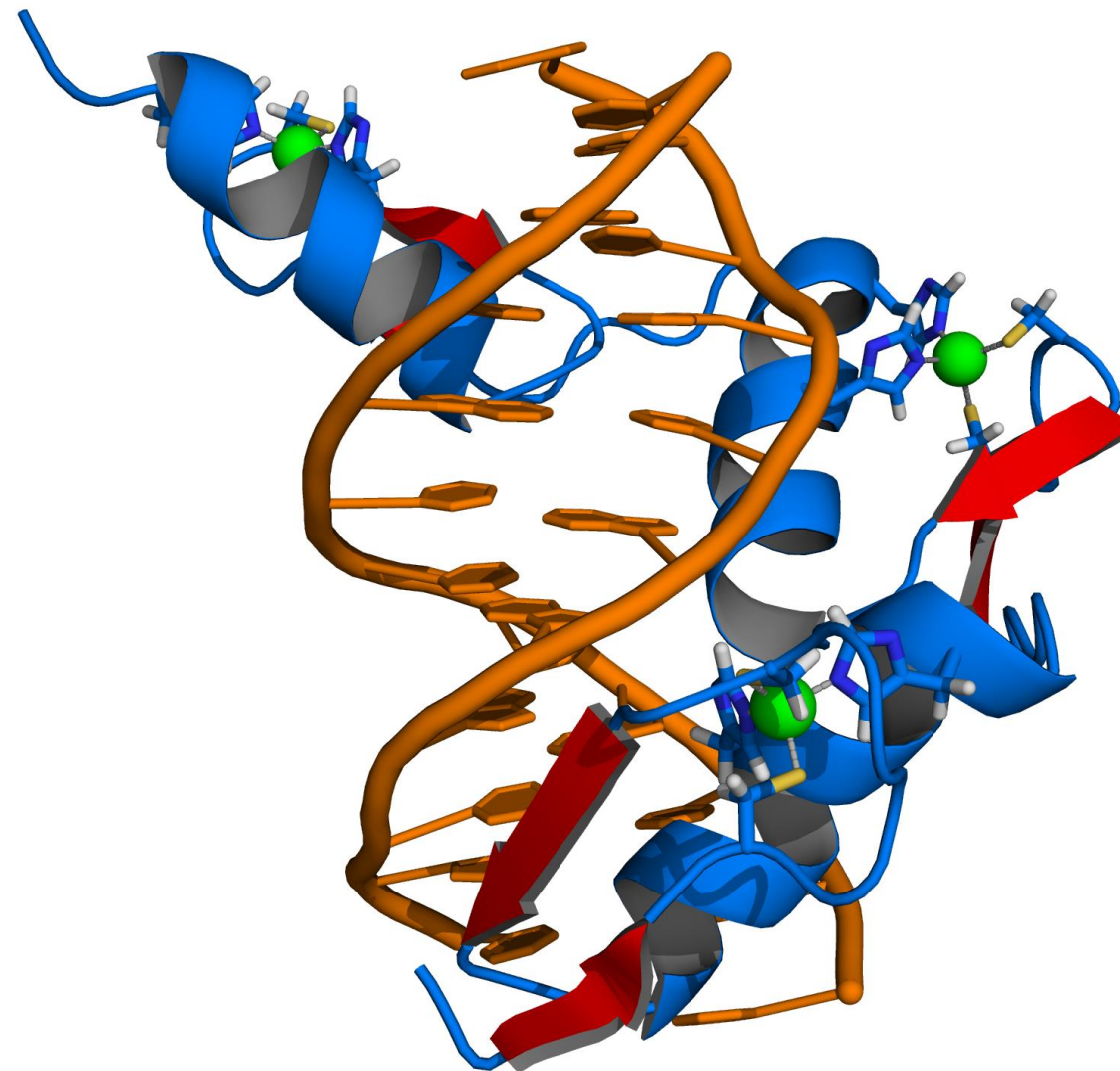
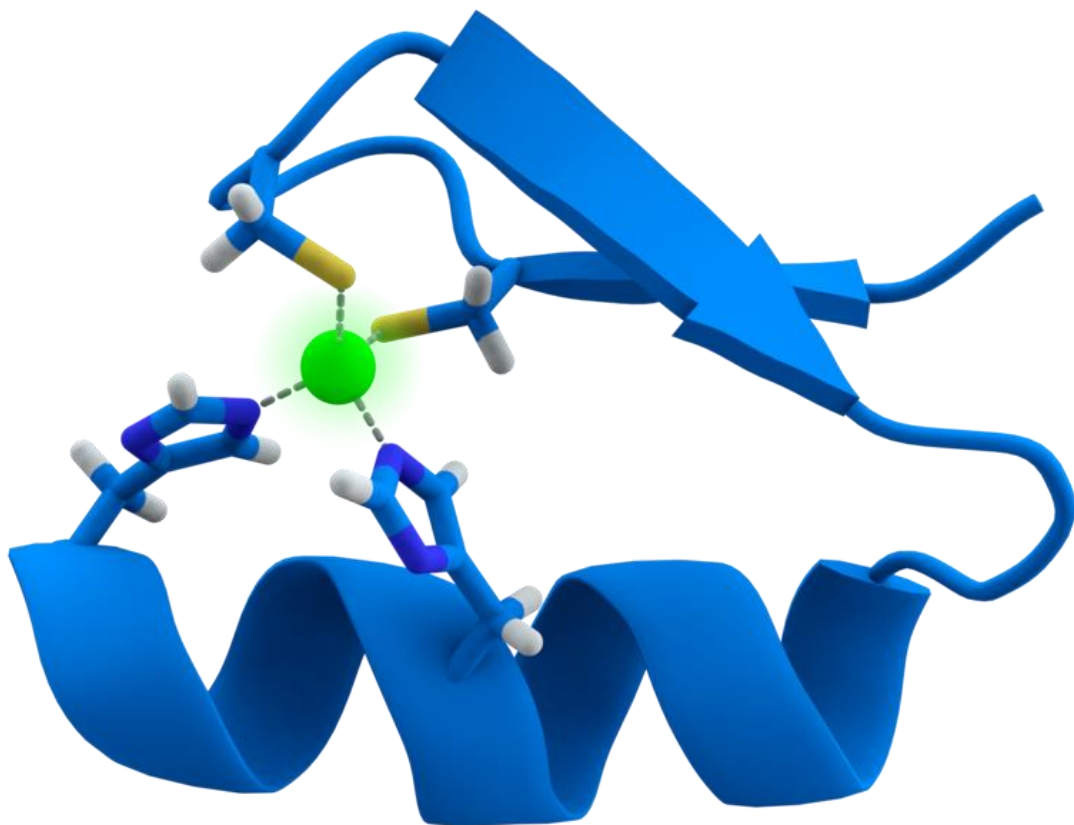


Le interazioni ioni-dipolo fra le **teste idrofile** delle catene di ioni palmitato e le **molecole d'acqua** sono alla base della stabilizzazione della **struttura micellare** (alla base del funzionamento del sapone)

Le Forze Ione-Dipolo

Effetti delle forze ione-dipolo

Le interazioni ione-dipolo fra **ioni metallici** e **amminoacidi** stabilizzano **complessi metallo-proteina**



Le Forze di van der Waals

Forze dipolo-dipolo indotto

Uno ione o una molecola polari *inducono un dipolo* in una specie apolare

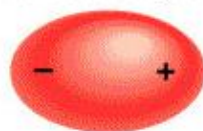
Neutral species



Cation



Induced dipole

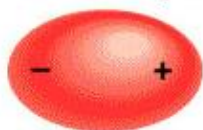


Interazione *ione – dipolo indotto*

Dipole



Induced dipole



Interazione *dipolo - dipolo indotto*

Le Forze di van der Waals

Forze di dispersione (o di London)

Forze di dispersione: forze di attrazione che aumentano in conseguenza di un dipolo temporaneo indotto in atomi o molecole apolari

Sono dipoli indotti che interagiscono tra loro. I dipoli esistono **temporaneamente** e le disposizioni **cambiano istante per istante**

La **polarizzabilità** è la facilità con cui può essere **distorta** la distribuzione elettronica in un atomo o in una molecola

La polarizzabilità **aumenta** con:

- Maggior **numero** di elettroni
- Nuvola elettronica più **diffusa**
- Di solito anche con **massa molare**

Le forze di dispersione **a volte sono maggiori delle forze dipolo-dipolo** in molecole polari

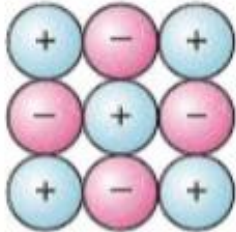
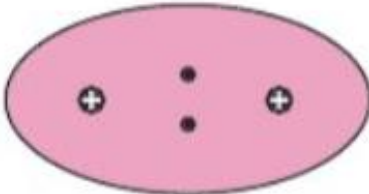
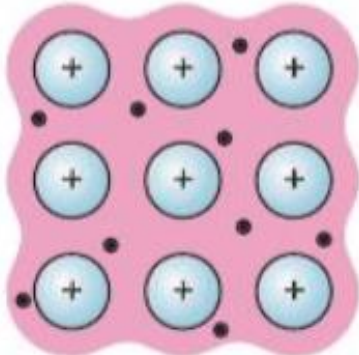
CH_3F b.p. = -78.4°C ; CCl_4 b.p. = 76.5°C

| 7A (17) | 8A (18) |
|---|----------------------------|
| Sostanza modello massa molare Temperatura di ebollizione (K) | He 4,003 4,22 |
| F₂ 38,00 85,0 | Ne 20,18 27,1 |
| Cl₂ 70,91 239 | Ar 39,95 87,3 |
| Br₂ 159,8 333 | Kr 83,80 120 |
| I₂ 253,8 458 | Xe 131,3 165 |

Intensità crescente delle forze di dispersione






Le Forze di Legame

Confronto delle energie di interazione

| Forza | Modello | Base dell'attrazione | Energia (kJ/mol) | Esempio |
|---------------------------|---|---|------------------|---------|
| Forze di legame | | | | |
| Forze di legame ionico |  | Catione-anione | 400-4000 | NaCl |
| Forze di legame covalente |  | Nuclei-coppia di e ⁻ condivisa | 150-1100 | H—H |
| Forze di legame metallico |  | Cationi-elettroni delocalizzati | 75-1000 | Fe |

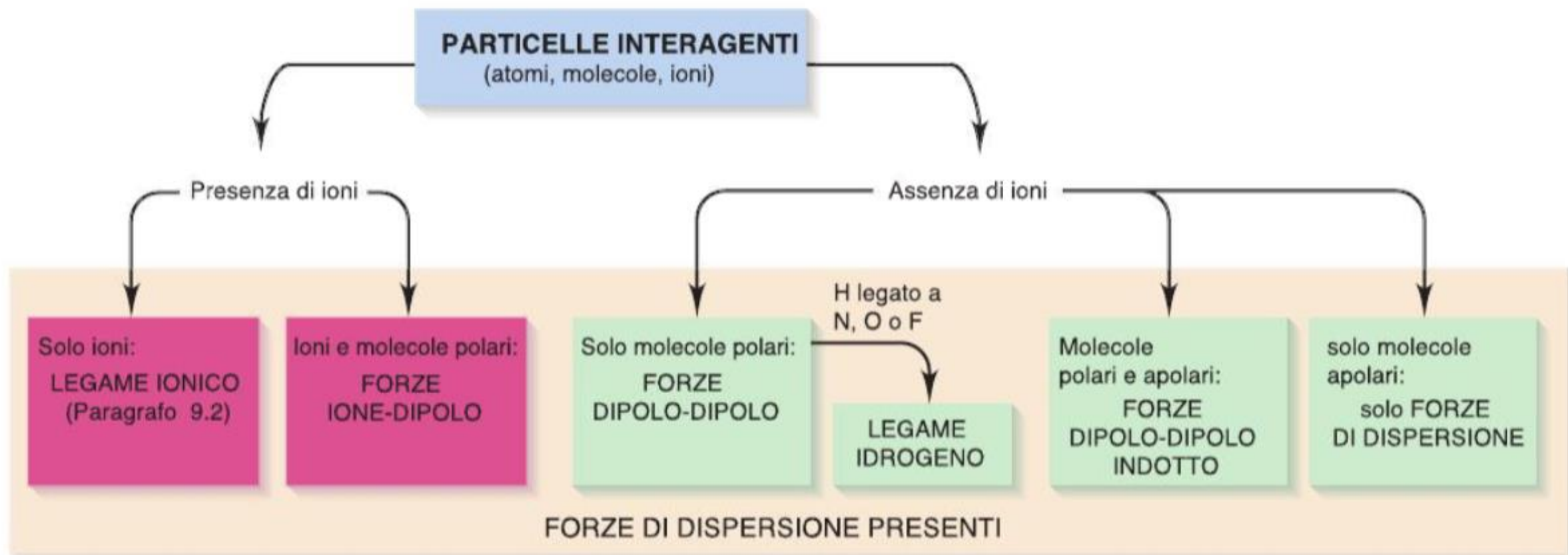
Le Forze di Non Legame

Confronto delle energie di interazione

| Forza | Modello | Base dell'attrazione | Energia (kJ/mol) | Esempio |
|--|---|---|------------------|---|
| Forze di non legame (intermolecolari) | | | | |
| Forze ione dipolo |  | Carica dello ione-carica del dipolo | 40-600 | $\text{Na}^+ \cdots \text{O} \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array}$ |
| Forze di legame idrogeno | $\delta^- \quad \delta^+ \quad \delta^-$ $-\text{A}-\text{H} \cdots \cdots :\text{B}-$ | Legame polare con carica H-dipolo (alta elettronegatività di N, O, F) | 10-40 | $\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \cdots \cdots \begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ |
| Forze dipolo-dipolo |  | Cariche dei dipoli | 5-25 | $\text{I}-\text{Cl} \cdots \cdots \text{I}-\text{Cl}$ |
| Forze ione-dipolo indotto |  | Carica dello ione-nuvola elettronica polarizzabile | 3-15 | $\text{Fe}^{2+} \cdots \cdots \text{O}_2$ |
| Forze dipolo-dipolo indotto |  | Carica del dipolo-nuvola elettronica polarizzabile | 2-10 | $\text{H}-\text{Cl} \cdots \cdots \text{Cl}-\text{Cl}$ |
| Forze di dispersione (forze di London) |  | Nuvole elettroniche polarizzabili | 0,05-40 | $\text{F}-\text{F} \cdots \cdots \text{F}-\text{F}$ |

Le Forze di Non Legame

Prospetto dei tipi di forze intermolecolari



Le Forze di Non Legame

ESEMPIO:

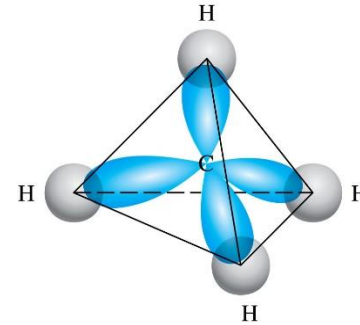
Che tipo(i) di forze intermolecolari esistono tra ognuna delle seguenti molecole?



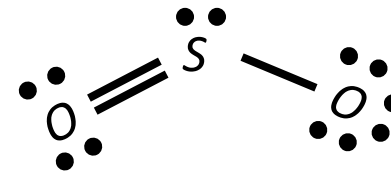
HBr è una molecola polare: forze dipolo-dipolo



CH_4 è apolare: forze di dispersione



SO_2 è una molecola polare: forze dipolo-dipolo



Esempio 11.1

Quali tipi di forze intermolecolari si hanno tra le seguenti coppie di composti: (a) HBr e H_2S , (b) Cl_2 e CBr_4 , (c) I_2 e NO_3^- , (d) NH_3 e C_6H_6 ?

Problema di verifica Indica i tipi di forze intermolecolari che si hanno tra le molecole (o le unità base) in ciascuna delle seguenti specie: (a) LiF, (b) CH_4 , (c) SO_2 .

Esempio 11.2

Quale dei seguenti composti può dare legami idrogeno con l'acqua? CH_3OCH_3 , CH_4 , F^- , HCOOH , Na^+ .

Problema di verifica Quali tra le seguenti specie sono in grado di dare legami idrogeno con loro stesse? (a) H_2S , (b) C_6H_6 , (c) CH_3OH .

PROBLEMA DI VERIFICA 12.2

Problema Quale delle seguenti sostanze presenta legame idrogeno?

- (a) C_2H_6 (b) CH_3OH (c) $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}_2$

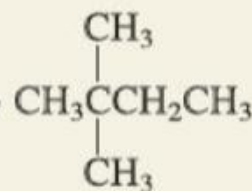
PROBLEMA DI APPROFONDIMENTO 12.2 Quale delle seguenti sostanze presenta legami idrogeno? Si disegnino i legami idrogeno tra due molecole della sostanza quando è appropriato.

- (a) $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{OH}$ (b) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (c) $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}\text{CCH}_3$

PROBLEMA DI VERIFICA 12.3

Problema Per ciascuna coppia di sostanze, si identifichino le forze intermolecolari dominanti in ciascuna sostanza e si scelga la sostanza con la temperatura di ebollizione più alta:

- (a) MgCl_2 o PCl_3
(b) CH_3NH_2 o CH_3F
(c) CH_3OH o $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
(d) Esano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) o 2,2-dimetilbutano



PROBLEMA DI APPROFONDIMENTO 12.3 In ciascuna coppia di sostanze, si identifichino tutte le forze intermolecolari presenti per ciascuna sostanza e si scelga la sostanza con la temperatura di ebollizione più alta:

- (a) CH_3Br o CH_3F (b) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ o $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3$ (c) C_2H_6 o C_3H_8

Ripasso

Concetti fondamentali e parole chiave

- *Differenza fra forze inter- e intra-molecolari*
- *Tipi di forze intermolecolari*
- *Forze dipolo-dipolo e legame a idrogeno*
- *Importanza del legame a idrogeno*
- *Forze ione-dipolo*
- *Fenomeni governati da forze ione -dipolo*
- *Forze ione-dipolo indotto; dipolo-dipolo indotto*
- *Forze dipolo indotto-dipolo indotto o di dispersione o di London*

Ripasso

Domande ed esercizi utili

Eserciziario Chang, Overby capitolo 9

Domande

Esercizi

9.1-9.4

9.7-9.20

9.6