



I materiali di NANOLAB, inclusa la presente scheda, sono proprietà degli autori di NANOLAB (www.nanolab.unimore.it) e distribuiti con licenza Creative Commons 3.0 Versione: 13/07/2018

## La magia delle interazioni molecolari ed il segreto della spada nella roccia

*"Tempi oscuri davvero.. e maledettamente scomodi! Niente idraulica... niente elettricità  
... niente di niente!"*

*Merlino*



*"Dove l'hai presa?"*

*"Io, io l'ho tirata fuori da un  
incudine che stava su una  
roccia vicino alla chiesa.."*

*"Allora prova!..."*



*... "Hei ce l'ha fatta!!"*

*Questo è un miracolo voluto  
dal cielo,*

*questo fanciullo è il nostro  
re...."*

### Cos'è il Gecko Tape?

Il Vogliamo parlare oggi di un "nastro adesivo" molto particolare, in grado di aderire alle superfici senza lasciare residui di "colla", in grado di reggere pesi di grande entità ma anche di staccarsi dagli oggetti con relativa facilità ; ovviamente non sempre, solo a patto di staccarlo nel modo giusto! Occorre "conoscere il segreto", quasi come per la spada magica. Vorremmo guidarvi nel cercare questo segreto e ripercorrendo un viaggio, quello di chi è riuscito, con il proprio intelletto a progettare e costruire un materiale in grado di compiere un tale "miracolo". Qual'è il segreto? La tenacia dell'adesione sembrerebbe contraria alla facilità di distacco; eppure è proprio quello che fa il gecko, un piccolo animaletto capace di reggere carichi persino superiori a 10 volte il proprio peso corporeo: un po' come se un uomo di 70 kg potesse rimanere appeso al soffitto reggendo un peso di 2800 kg !! Più o meno l'equivalente di un grosso fuoristrada con 4 persone a bordo, ma, nel contempo, rilasciare agevolmente la presa al momento giusto. Copiando il gecko si stanno producendo nuovi e sempre più efficienti materiali, c'è chi, con essi, tenta di costruire robot che scalano le pareti e chi guanti ed indumenti superadesivi sognando di diventare un po' come l'uomo ragno.



## DISCLAIMER

**DISCLAIMER:** Gli esperimenti descritti nel seguente documento utilizzano strumenti e sostanze chimiche che vanno utilizzati secondo le specifiche MSDS e le regole di sicurezza vigenti nelle scuole. Le indicazioni per la sicurezza personale devono essere seguite come indicato. Come sempre nell'uso di sostanze chimiche o apparati di laboratorio siate prudenti. Le sostanze solide non devono essere inalate o entrare in contatto con pelle, occhi o vestiti. Lavarsi bene le mani dopo l'uso. I residui vanno trattati come indicato. I dispositivi in vetro devono essere maneggiati con particolare cautela o sostituiti con analoghi in plexiglas. Tutti gli esperimenti devono essere condotti in presenza dell'insegnante specializzato nell'insegnamento delle scienze. Tutti gli esperimenti saranno svolti sotto la vostra responsabilità. L'intero team di NANOLAB declina ogni responsabilità su danni o perdite che possano derivare da un uso improprio di sostanze, strumenti e protocolli nello svolgimento degli esperimenti qui riportati.

## Obiettivi didattici del percorso

<b>Obiettivi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Approfondimento delle conoscenze dei meccanismi di interazione atomica e molecolare attraverso un approccio attivo e al problem solving</li><li>• Utilizzo dei modelli e dei software di simulazione per migliorare la comprensione e la permanenza temporale dei concetti appresi</li><li>• Introduzione alle forze di Van Der Waals</li><li>• Comprensione del funzionamento dei piedi del gecko</li><li>• Coinvolgimento diretto degli studenti nella produzione delle nuove conoscenze</li><li>• Allenamento alla riflessione focalizzata alla risoluzione di problemi</li></ul>
------------------	--

## Sommario

<b>Il meccanismo di adesione del Gecko</b>	<b>3</b>
<b>Forze di legame fra molecole</b>	<b>5</b>
<b>Approfondimento: simulazione delle forze di interazione fra atomi</b>	<b>11</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>13</b>
<b>Link</b>	<b>13</b>
<b>Video</b>	<b>13</b>
<b>Immagini</b>	<b>13</b>



## Il meccanismo di adesione del Gecko

La capacità unica di gechi di scalare pareti e rimanere sospesi al soffitto muovendosi anche con grande rapidità ha da sempre catturato l'attenzione degli studiosi. Ma perché proprio il gecko?

Anche le mosche possono camminare a testa in giù e lo fanno con due diverse modalità: prima di tutto delle 6 zampe ne usano tre per volta e muovono alternativamente le zampe anteriore e posteriore di un lato del corpo e quella centrale del lato opposto, poi le altre tre. Quando si spostano su una superficie ruvida, utilizzano le unghie che si trovano all'estremità delle zampe per aggrapparsi alle asperità

Quando invece si posano su superfici più levigate, come i vetri, usano una specie di dito, posto tra le due unghie, capace di aderire al vetro stesso come una ventosa.

Nel caso dei ragni il meccanismo è un po' diverso: le zampe sono formate da migliaia di minuscoli peli che creano molteplici punti di contatto tra il ragno e la superficie, il che aumenta la capacità del ragno di restarvi attaccato. I peli sono anche flessibili e poiché a livello molecolare, anche le superfici apparentemente più lisce presentano delle asperità la flessibilità permette di aumentare la superficie di contatto. Oltre a ciò il meccanismo di "controllo incrociato" delle zampe anteriori/posteriori e dei due lati del corpo contribuiscono a dare aderenza al ragno.

In ogni caso per animali molto leggeri come le mosche ed i ragni ciò che conta di più la capacità di adesione delle zampe, sia essa per l'azione di un dito ad uncino o di una sostanza adesiva; se però la massa corporea è tutt'altro che trascurabile l'indagine del meccanismo diventa più complessa ed interessante

Le zampe del Gecko non sono ricoperte da alcuna sostanza "adesiva" e la rapidità dei movimenti sottintende un meccanismo di adesione che il gecko riesce a controllare con precisione e rapidità. Aderisce a quasi tutte le superfici, sia lisce sia ruvide.

Vediamo le varie ipotesi in dettaglio:

- L'**agganciamento meccanico** è stato escluso considerando che le zampe del gecko non presentano uncini di sorta ma soprattutto che l'animale riesce a rimanere incollato a superfici così lisce, come il vetro, da non offrire alcun tipo di appiglio.
- Anche le **forze magnetiche** si escludono subito notando che il gecko non fa preferenze di superfici, attaccandosi anche dove le calamite falliscono miseramente.
- Una delle prime ipotesi avanzate è stata che il gecko fosse dotato di tante piccole **ventose**. Un esemplare è stato allora posto in un contenitore da cui è stata tolta tutta l'aria: tuttavia l'animale riusciva ancora a rimanere attaccato alle pareti. Nel caso di ventose l'aria intrappolata all'interno della cavità tra ventosa e parete una volta fatto il vuoto, a causa della differenza di pressione prodotta facendone il vuoto, si sarebbe espansa esercitando una forza tale da produrre il distacco.
- Ci si è anche chiesti se il gecko secernesse una qualche **sostanza collosa**, ma non è mai stato trovato alcun resto di secrezione sulle superfici su cui aveva camminato, a differenza di ciò che accade per alcuni insetti [3], e si è inoltre verificato che non esistono ghiandole nelle zampe del gecko.



- Che dire delle forze dovute all'**elettricità statica**? L'umidità tende a far scomparire l'elettricità statica e però è provato sperimentalmente che un gecko posto in un contenitore dalle pareti umide, riesce ancora a stare incollato. Gli scienziati hanno pure provato a sparargli addosso con una pistola antistatica che ionizzando l'aria circostante avrebbe neutralizzato eventuali cariche sulle zampe...Niente da fare! Il gecko resisteva più attaccato che mai! Rimanevano quindi solo due possibilità: forze capillari e forze di van der Waals.

**L'esperimento** - Per verificare direttamente se le forze capillari o piuttosto quelle di van der Waals rappresentassero il meccanismo principale dell'effetto gecko, i ricercatori hanno misurato l'adesività su due superfici semiconduttrici polarizzabili con livello di idrofobicità molto diverso. In particolare hanno misurato la forza parallela alla superficie di un singolo dito di gecko su gallio arsenide (GaAs), altamente idrofobico (angolo di contatto  $\theta = 110^\circ$ ) ed altamente polarizzabile. Come controllo hanno misurato la stessa forza su una superficie semiconduttrice di biossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ) fortemente idrofila (angolo di contatto  $\theta = 0^\circ$ ), anche essa polarizzabile.

**Le ipotesi sperimentali** - Era stato precedentemente provato che le dita dei gechi del Tokai vivi sono superidrofobiche (angolo di contatto  $161^\circ$ ). Se le forze adesive umide di natura capillare dominassero ci si aspetterebbe una mancanza di adesione del gecko sulle superfici fortemente idrofobiche (GaAs e Si MEMS). Al contrario se a dominare fossero le forze di van der Waals, allora si prevederebbe una forza di adesione notevole anche sulle superfici idrofobiche. In entrambi i casi ci si aspetta una forte adesione sulle superfici idrofile semiconduttrici di controllo,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$  MEMS.

#### **I risultati e la loro interpretazione** -

Si è trovato che l'adesione alle superfici idrofile e idrofobe polarizzabili era simile come pure era ugualmente efficace l'adesione di una singola seta del gecko sulle superfici idrofobe ed idrofile dei sensori di forza MEMS, e quindi è stata rigettata l'ipotesi delle forze capillari in favore delle forze di van der Waals.

#### **A che superfici il Gecko non aderisce?**

I gechi non riescono ad aderire a superfici idrofobiche debolmente polarizzabili in particolare al Teflon (polytetrafluoroethylene, angolo di contatto  $\theta = 105^\circ$ ). Le proprietà chimiche del teflon sono infatti caratterizzate da bassissime interazioni di van der Waals e lo rendono l'unica superficie conosciuta sulla quale le zampe del gecko non sono in grado di aderire.

#### **B) Cosa implica il meccanismo di van der Waals?**

Dall'aver riportato l'adesività del gecko alla adesione asciutta, dovuta alle forze di van der Waals, discendono alcune importanti conseguenze. Prima fra tutte il fatto che **non si tratta di un fenomeno influenzato dalla chimica delle superfici quanto dalla geometria delle stesse** (distanze tra superfici diverse, dimensioni e forma). In particolare ciò significa che dovremmo essere capaci di fabbricare modelli sintetici delle spatole del gecko la cui superficie, pur differendo per il materiale di cui è costituita, ha comunque uguale efficacia adesiva.

Nel video [7] e soprattutto [8] è mostrata la realizzazione e l'utilizzo di due materiali sintetici gecko-like di diversa tipologia, basato l'uno su: un polimero e nanotubi di carbonio.



## Simulazioni

Nello studio utilizzeremo alcune simulazioni tratte dal sito della Colorado University

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/new>

Se avete un Pc con windows 7 potete usare tutte le simulazioni in HTML4 a cui facciamo riferimento in questa scheda, da win 10 in poi sul vostro pc funzioneranno solo quelle in HTML 5, riportiamo di seguito i link in HTML delle simulazioni, attualmente manca la parte di interazioni molecolari con molecole reali ma il sito PHET è in continuo aggiornamento e probabilmente a breve termineranno la riscrittura in HTML 5 anche di quella app.

- Friction
- <https://phet.colorado.edu/it/simulation/friction>
- Molecule- polarity
- <https://phet.colorado.edu/it/simulation/molecule-polarity>
- Atomic Interaction
- <https://phet.colorado.edu/it/simulation/atomic-interactions>

## Forze di legame fra molecole

La **forza di legame** è associata all'energia necessaria per allontanare particelle legate tra loro, siano esse particelle di solidi o liquidi<sup>1</sup> ma entra in gioco anche nell'interazione fra i corpi. Nella tabella 1<sup>2</sup> il confronto che mette in evidenza come l'energia di legame sia direttamente collegata alle proprietà fisiche della sostanza: si noti in particolare il caso dei cristalli molecolari apolari<sup>3</sup>.

Dando per scontata e nota dalla chimica la conoscenza dei legami atomici covalente ionico e metallico ci concentreremo su quelli molecolari che si dimostreranno responsabili delle interazioni di cui ci occuperemo. I legami molecolari sono riconducibili ad interazioni di natura elettrica e, come indicato nella tabella dello step 2, sono forze di attrazione (a lungo raggio) o repulsione (a corto raggio), sono spiegabili considerando la distribuzione di carica della molecola, oltre che, più propriamente attraverso calcoli quantistici che però esulano dal livello di approfondimento che caratterizza il presente lavoro.

---

<sup>1</sup> Come è noto nei gas, in prima approssimazione, si suppone che le particelle elementari, atomi o molecole, non interagiscano fra loro, ciò caratterizza appunto la fase gassosa.

<sup>2</sup> Adattato da Zanichelli\_esploriamolachimica\_cap\_11

<sup>3</sup> Di seguito si approfondirà la differenza fra molecole polari e apolari



Tabella 1 confronto fra energie di legame; tipo di legame (a)= atomico, (M)=molecolare

Tipo di legame	Energia per rompere un legame [eV]	Temperatura di fusione $T_f$ [°C]	Esempio ( $T_f$ ad 1 atm)	Conducibilità elettrica	
				solido	liquido
Covalente (a)	Poco più di 4	Molto alta	Diamante (~4000 °C) SiO <sub>2</sub> 1600°C	Isolante (tranne grafite)	isolante
Legame ionico (a)	Circa 4	Alta	NaCl (801 °C)	Bassa	conduttore
Legame metallico (a)	0,4 - 1,2	Variabile	Fe (1538°C) Sn (232 °C)	Alta	conduttore
Legame a idrogeno (M)	0,2-0,4	Media	H <sub>2</sub> O (100°C)	isolante	isolante
Forze di Van Der Waals (M)	0,01-0,1	Bassa	CO <sub>2</sub> (-78,5 °C)	bassa	bassa

Lo strumento che proporremo ancora una volta può essere utilizzato sia per la didattica frontale sia fornito allo studente con una scheda di lavoro ( v. schede studenti) attraverso la quale procedere alla scoperta autonoma in un'ottica inquiry based learning.

### Modellizzazione per la comprensione delle interazioni molecolari ( atomiche)

Per supportare la comprensione di questi concetti introduciamo l'uso di simulazioni. uno strumento didattico utile per la comprensione dei fenomeni di natura scientifica, in essa gioca un ruolo determinante l'intelligenza logico spaziale a l'utilizzo del canale visivo, particolarmente sviluppato negli adolescenti. L'utilizzo di questo strumento presenta una valenza poliedrica: migliora l'efficacia didattica e la comprensione in un'ottica "inquiry based learning", migliora le performance a lungo termine dei concetti, <sup>4</sup> e contribuisce ad avvicinare il mondo della formazione a quello della ricerca che ha fatto della modellizzazione una delle sue risorse più preziose (fatte le debite proporzioni in merito alla complessità degli strumenti). Si propongono in questo caso due semplici app tratte dal sito <https://phet.colorado.edu> A seguire riporteremo la scheda studente che può essere assegnata, assieme ai link alle due app, per un lavoro sia in Cooperative Learning che in Flipped Classroom o utilizzata in aula.

### Definizioni: Dipolo elettrico, elettronegatività, momento di dipolo.

- Un **dipolo elettrico** è un sistema che presenta due poli elettrici, con uguale carica  $q$  ma di segno opposto, posti ad una certa distanza  $d$

4 Elinor Gottschalk and Bhawani Venkataraman J. Chem Educ, March 2014,91(5),pp 666-Visualizing Dispersion Interactions



- **Elettronegatività:** è la tendenza di un atomo ad attirare gli elettroni condivisi in un legame covalente dipende sia dall'energia di ionizzazione, che è relativa alla forza di attrazione esercitata da un nucleo verso i propri elettroni, sia dall'affinità elettronica che indica con quanta forza elettroni estranei possano essere attirati. Se un atomo attrae a sé gli elettroni più dell'altro allora su di esso si forma una parziale carica negativa  $\delta^-$  mentre sull'altro, evidentemente, la carica positiva nucleare rimane sbilanciata e si crea una carica positiva  $\delta^+$

Utilizziamo la app “molecular polarity”<sup>5</sup> per ottenere la figura 3; l'atomo B è stato fissato più elettronegativo di A, pertanto su B si ha una parziale carica negativa  $\delta^-$  viceversa su A. La barra in alto riporta il potenziale elettrostatico conseguente alla distribuzione di carica.

- Il **momento di dipolo**  $\mu$  è una grandezza vettoriale il cui modulo è dato dal prodotto fra la carica e la distanza  $d$  fra le cariche o la distribuzione di carica:  $\mu = \delta \cdot d$ ; è una **grandezza vettoriale** diretta verso il polo negativo (la freccia punta verso il polo negativo). Dalla formula è evidente che  $\mu$  cresce all'aumentare della carica e della distanza fra le due cariche.

In un modello “rigido” si può pensare ad un'asta con due sfere cariche ai bordi, se si avvicina questo sistema ad una carica positiva l'asta (ossia la molecola) si disporrà in modo da avvicinare la sua zona  $\delta^-$  e di conseguenza allontanare il più possibile la zona  $\delta^+$ : ciò è quanto accade nei legami tra molecole. Le forze intermolecolari, a cui si devono i legami tra le molecole, sono forze di natura elettrostatica direttamente collegate alla presenza di dipoli; possiamo distinguere diverse situazioni:

- **Molecole polari:** in esse se la somma dei momenti di dipolo di tutti i suoi legami è diversa da zero e si ha quindi la presenza del dipolo permanente che consente alla molecola di interagire con le altre attraverso forze di attrazione e repulsione di

Figura 1 momento di dipolo e distribuzione di carica per una molecola AB generica: simulazione<sup>14</sup>

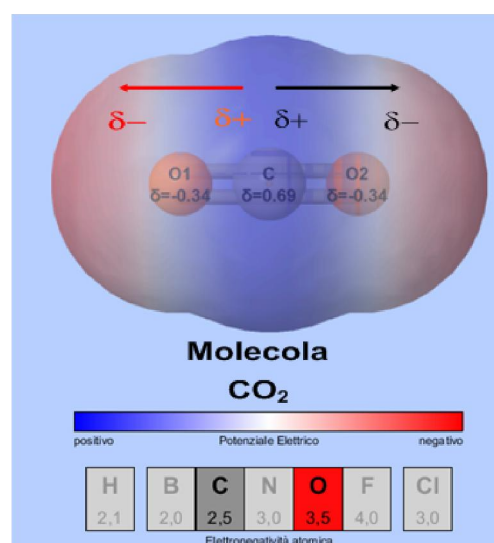
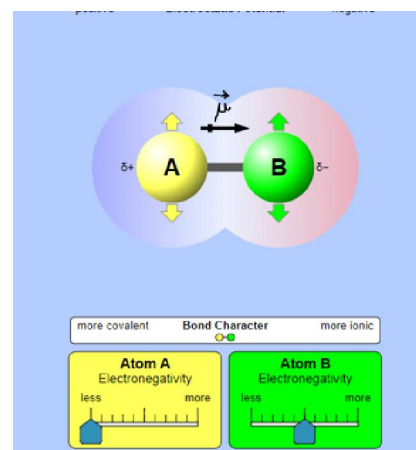


Figura 5 Distribuzione di carica e momento di dipolo complessivo nella molecola di anidride carbonica.

<sup>5</sup> [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecole-polarity/latest/molecole-polarity\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecole-polarity/latest/molecole-polarity_en.html)



tipo elettrostatico.

- **Molecole apolari** sono quelle molecole in cui le cariche sono disposte in modo da equilibrare perfettamente i momenti di dipolo di tutti i legami.

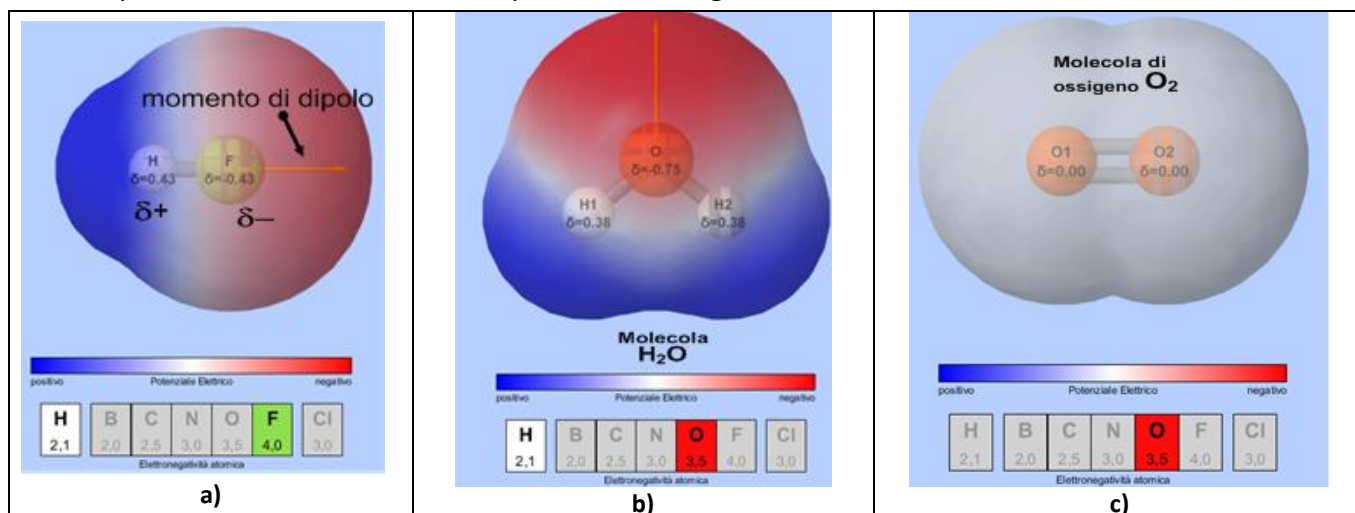


Figura 4 distribuzione di carica e momento di dipolo simulate per diverse molecole reali l'intensità del colore è proporzionale alla densità di carica positiva (blu) o negativa (rosso)

Ne sono esempi il caso di tutte le molecole biatomiche dello stesso elemento (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>,...) ma anche molecole con atomi diversi nelle quali l'annullamento dei momenti di dipolo avviene grazie alla simmetria dei legami. Nella figura 4 sono riportate la distribuzione di carica e momento di dipolo simulate<sup>14</sup> per tre molecole: l'acido fluoridrico (HF) l'acqua e l'anidride carbonica.

Analizziamo in dettaglio il caso della CO<sub>2</sub>: una molecola lineare con l'atomo di ossigeno posto a metà fra i due atomi di carbonio. La carica spaziale è asimmetricamente distribuita a causa delle differenti elettronegatività e produce due momenti di dipolo che però sono esattamente uguali ed opposti e centrati sul carbonio e che quindi per simmetria si annullano a vicenda. La polarità di una molecola dipende quindi sia dagli atomi che la costituiscono sia dalla sua struttura, ovvero dalla direzione dei suoi legami.

La polarità delle molecole determina molte proprietà come ad esempio la solubilità della sostanza nei diversi solventi. I solventi sciolgono le sostanze che hanno polarità simile: solventi polari sciolgono sostanze polari, solventi apolari solubilizzano sostanze apolari. Dovrebbe a questo punto sorgere spontanea la seguente domanda: nei solidi di molecole apolari (come ad esempio il ghiaccio secco, ossia la l'anidride carbonica solida) quali sono le interazioni che consentono al solido di essere tale? Come si attraggono le molecole apolari?

In genere le forze in gioco fra le molecole sono dette di Van der Waals; queste forze si distinguono a seconda della polarità della molecola, vista come dipolo, in:

1. forza dipolo permanente-dipolo permanente (o forza di Keesom);
2. forza dipolo permanente-dipolo indotto (o forza di Debye);
3. forza dipolo istantaneo-dipolo indotto (o forza di dispersione di London)

### Forze di Van der Waals

Mentre i casi 1 e 2 sono facili da immaginare diverso è il terzo su cui ci soffermiamo:



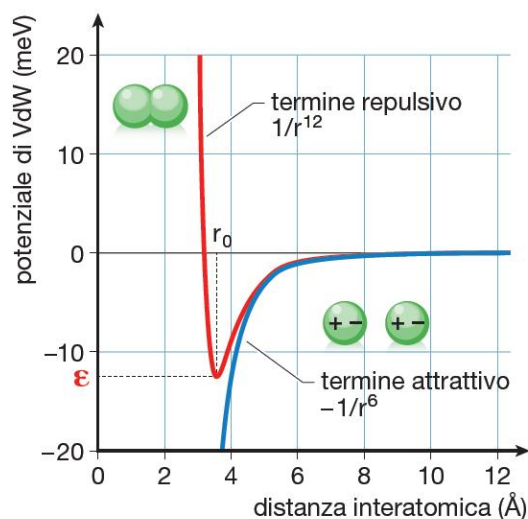


consideriamo una molecola biatomica dello stesso elemento, quindi assolutamente apolare. Immaginiamo per semplicità l'atomo di idrogeno con il nucleo positivo centrale e l'elettrone che gli ruota intorno, pensiamo poi di bloccare la rotazione dell'elettrone ad un certo istante, ci troveremmo con una carica positiva, il nucleo, ad una certa distanza da una carica negativa, l'elettrone: in quell'istante quindi l'atomo di idrogeno è un dipolo.

Nell'atomo di idrogeno, ma anche in tutti gli altri atomi e molecole non polari, vi è quindi istante per istante un dipolo che chiamiamo appunto dipolo istantaneo o temporaneo.

Il dipolo istantaneo della molecola induce un momento di dipolo nella molecola vicina; si instaura quindi una forza di attrazione tra i dipoli temporaneo ed indotto chiamata appunto forza di London dal nome del fisico tedesco **Wolfgang Fritz London** che per primo introdusse il concetto di dipolo istantaneo nel 1930.

Sebbene il concetto di dipolo temporaneo sia stato presentato immaginando un modello planetario dell'atomo la considerazione vale anche con la rappresentazione a nuvola di carica dove si può



**Figura 6** Energia potenziale di Van der Waals in funzione della distanza intermolecolare

pensare al dipolo istantaneo come risultato dello sbilanciamento temporaneo della distribuzione degli elettroni

In generale quindi ponendo una molecola nel campo elettrico generato da un'altra molecola (ad una distanza interatomica  $d$ ), la prima acquisterà un momento di dipolo indotto mediante il meccanismo della polarizzazione e fra le due molecole si originerà una forza di attrazione d'altro canto le nuvole elettroniche, negative tenderanno a respingersi: a distanze minori prevale il termine repulsivo delle nuvole elettroniche mentre allontanandole aumenta la componente attrattiva, la distanza  $r_0$  a cui si ha l'equilibrio tra i due termini è la distanza di legame (stabile) e corrisponde appunto il un minimo di energia potenziale (fig. 6).

Si noti l'ordine di grandezza delle decine di meV ossia circa un centinaio di volte inferiore rispetto all'energia di legame delle molecole.

Possiamo ora accennare anche la spiegazione quantistica dell'origine delle forze di Van Der Waals; consideriamo il caso peggiore ossia quello corrispondente alle forze di London; prendiamo come esempio due atomi A e B di gas nobile nello stato fondamentale. Sono elettricamente neutri e con distribuzioni di carica sfericamente simmetriche, quindi secondo le leggi dell'elettrostatica il campo elettrico generato da ciascun atomo è esattamente nullo e non esiste alcuna forza fra di loro. Secondo la Meccanica Quantistica tuttavia c'è una probabilità non nulla di trovare un momento di dipolo diverso da zero su di ogni atomo; questo fenomeno si può visualizzare come una fluttuazione quantistica nella distribuzione di carica ( in analogia all'immagine che abbiamo dato nel caso dell'elettrone rotante). Questo momento di dipolo  $p_A$  dell'atomo ( A ) genera nel suo intorno un campo elettrico  $E$  che a grandi distanze da A decade come  $1/r^3$ . Questo campo induce, su un atomo vicino B, un momento di dipolo  $p_B$  la cui ampiezza sarà proporzionale ad  $E$ , dunque proporzionale al reciproco del cubo della distanza  $r$  fra A e B. Siccome l'energia di interazione fra due dipoli è proporzionale a



$pA \cdot pB/r^3$ , si ottiene che i due atomi in effetti si attraggono e che l'energia di attrazione è proporzionale a  $1/r^6$ . Questa legge di interazione, formulata per la prima volta Johannes Diderik Van der Waals nel 1873, secondo cui l'intensità della forza diminuisce con la sesta potenza della distanza tra gli atomi o le molecole, entra in gioco in molti processi ed è stata verificata sperimentalmente aprendo anche nuove prospettive per applicazioni <sup>6</sup>

A titolo di esempio si citano alcuni dei tanti lavori presenti in letteratura in cui sono riportate evidenze sperimentali e misure delle forze di Van der Waals e del loro effetto sui attrito ed adesione <sup>7</sup> della loro influenza sulle straordinarie capacità adesive dei Gecki. Le stesse forze spiegano le straordinarie abilità di scalatore del gecko capace di arrampicare su superfici verticali lisce, rimanere appesi al soffitto o di correre su pareti verticali a dimostrazione della grande capacità di controllo del processo di adesione e distacco regolato con precisione attraverso la diversa inclinazione delle strutture gerarchiche micrometriche presenti sulle proprie zampe <sup>8</sup>.

Lo stesso dicasi per l'influenza di tali forze sulle proprietà dei materiali ad essi bioispirati <sup>9</sup> come quello usato da noi.

Per un approfondimento teorico delle forze di Van der Waals si rimanda al testo D. Langbein, *Theory of Van der Waals Attraction* (Springer), New York, 1974).

---

<sup>6</sup> PhysRevA.37.3594, Measuring the van der Waals forces between a Rydberg atom and a metallic surface

<sup>7</sup> Phys. Rev. Lett. 111, 035502 (2013) Matthias Lessel, Peter Loskill, Florian Hausen, Nitya Nand Gosvami, Roland Bennowitz, and Karin Jacobs Impact of van der Waals Interactions on Single Asperity Friction

<sup>8</sup> Phil. Trans. R. Soc. A (2008) 366, 1575–1590, Kellar Autumn, Nick Gravish, Gecko adhesion: evolutionary nanotechnology

<sup>9</sup> Phys. Rev. E 83, 051915 (2011) Z. L. Peng and S. H. Chen Effects of surface roughness and film thickness on the adhesion of a bioinspired nanofilm



## Approfondimento: simulazione delle forze di interazione fra atomi

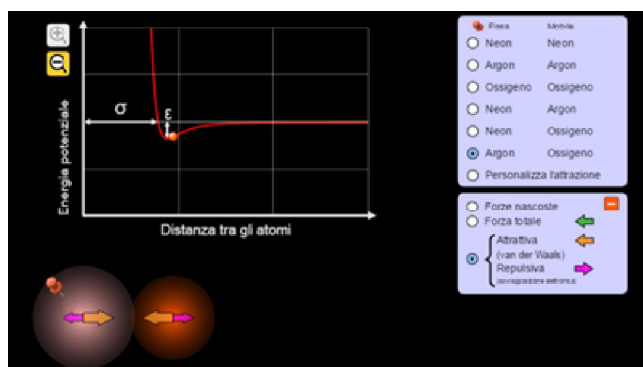


Figura 7 Energia potenziale in funzione della distanza tra due atomi di Ar e O

Si vuole qui segnalare una seconda app: <https://phet.colorado.edu/it/simulation/atomic-interactions> che permette di simulare le forze di interazione fra gli atomi e che può essere utile per approfondire il concetto di interazione fra dipoli (istantanei); in essa è possibile scegliere quale

atomo tenere fisso, identificato con la puntina. Nella figura 7 la troviamo applicata agli atomi Argon ed Ossigeno; il primo

immaginato fisso, il secondo in movimento, i due atomi sono rappresentati in basso sullo schermo.

Con il mouse è possibile “trascinare l’atomo mobile” e visualizzare, in funzione della distanza fra i due, le forze in gioco e l’energia potenziale di interazione. Attraverso i “pallet” a destra si può selezionare la visualizzazione delle forze ed in particolare delle due componenti attrattiva (di Van der Waals) e repulsiva dovuta alla repulsione fra le nuvole elettroniche  $\delta^+$  e  $\delta^-$ . Avvicinando l’atomo mobile oltre la distanza del minimo si nota l’aumento repentino delle forze di repulsione mentre allontanandolo aumentano quelle di attrazione, la simulazione consente anche la visione dinamica dell’interazione.

Un secondo aspetto di approfondimento è la distanza di equilibrio ( il minimo del grafico dell’energia) e l’intensità del legame (l’altezza del minimo) e di come questi due parametri dipendano fortemente anche dal tipo di atomi considerati.

Nella figura 8 confrontano i valori ottenuti per Ne-Ne (sinistra) Ar-Ar ( al centro) ed ossigeno-ossigeno ( a destra) per quest’ultimo, fortemente elettronegativo, l’intensità del potenziale è tanto grande da uscire dallo schermo: da questo confronto si può introdurre il concetto quantitativo di elettronegatività .

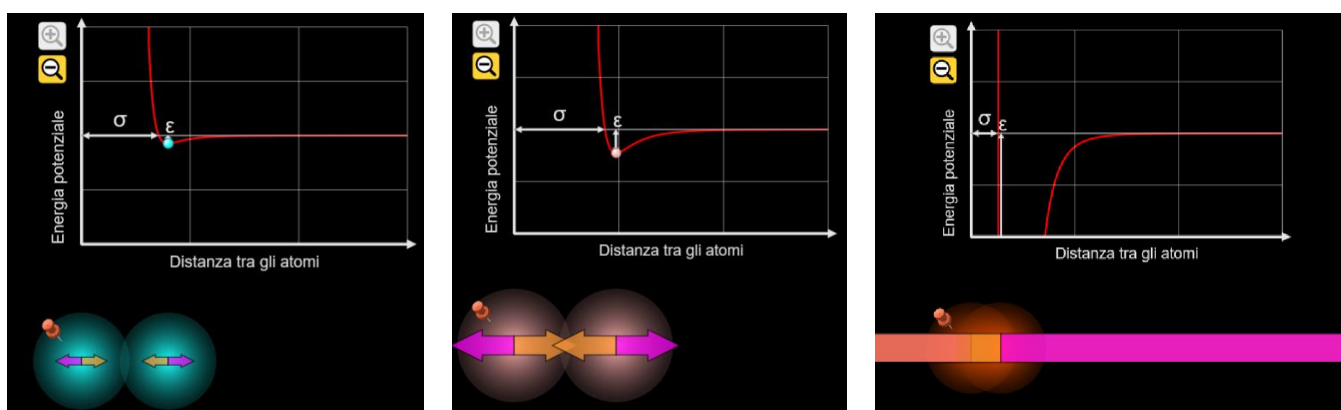


Figura 8 confronto fra i potenziali di interazione interazioni di atomi diversi



La figura 9 infine mostra l'intera gamma di possibilità di simulazione che consente di scegliere il diametro atomico  $\sigma$  e l'entità della forza di interazione (rappresentata dal potenziale  $\epsilon$ ) tra due atomi identici e la figura 10 l'interazione a distanza che si suggerisce di far sperimentare agli studenti: la debole forza attrattiva a distanza avvicina lentamente gli atomi fino a che, entrati nella buca di potenziale raggiungono la distanza di equilibrio ( di legame). Nel caso degli atomi, che formano molecole, le energia in gioco sono molto più grandi di quelle coinvolte nei legami molecolari, così come riportato nella tabella 1 iniziale.

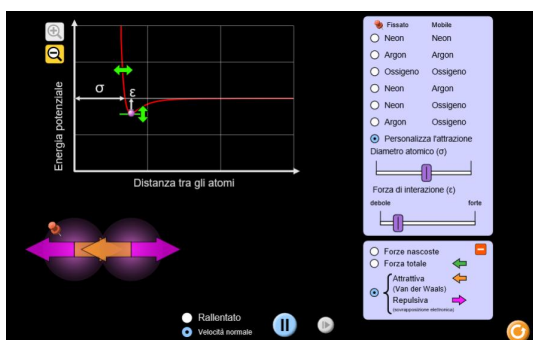


Figura 9: Scelta dei parametri atomici

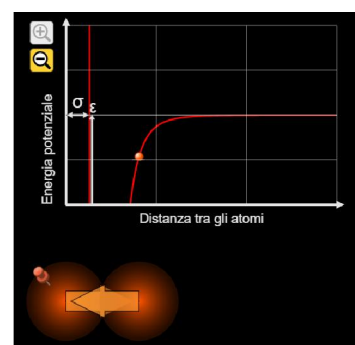
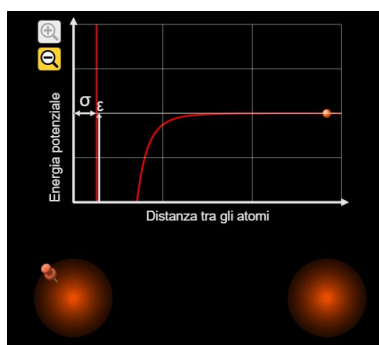


Figura 10 a e b: evoluzione temporale dell'interazione a distanza ( $O_2$ )

*Nota sull'utilizzo delle app da <https://phet.colorado.edu>*

- Molecule Polarity

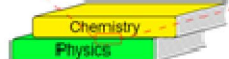
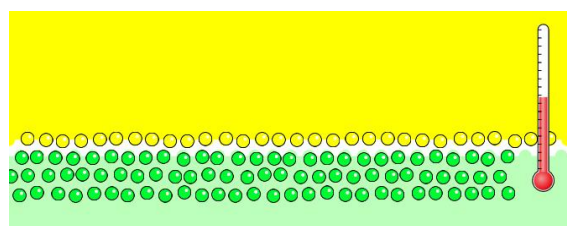
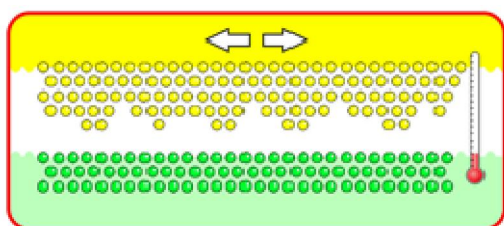
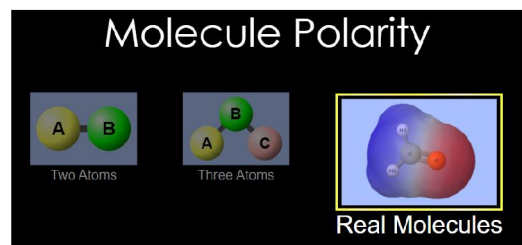
[https://phet.colorado.edu/sims/html/molecule-polarity/latest/molecule-polarity\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecule-polarity/latest/molecule-polarity_en.html)

Prevede tre configurazioni di simulazione: le prime due con atomi generici A,B,C rispettivamente per molecole biatomiche o triatomiche la terza per molecole reali. Negli esercizi proposti agli studenti si consiglia l'utilizzo prima del caso generico poi di quello reale.

- Friction

[https://phet.colorado.edu/sims/html/friction/latest/friction\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/friction/latest/friction_en.html)

Consente di visualizzare il fenomeno dell'attrito fra le superfici di contatto di due libri ( di Fisica e di chimica) con il mouse è possibile muovere la superficie superiore (gialla) sia lateralmente sia avvicinandola a quella sottostante e si possono "vedere" in modo qualitativo cosa accade alla superficie di contatto e l'effetto termico.





## Bibliografia

1. all, w. F. (2002). An integrative study of insect Adhesion. *Integ. Comp.Biol*, 42, 1100-1106.
2. Grawe, I. (2014). Composiion and substrate-dependent strength of the silken attachment discs in spiders. *J.R.Soc.Interface*, 11.
3. Knight, K. (2014). Spiders pull in legs to attach. *J Exp Biol*.
4. Wolff, J. (2015). Spider's super-glue: thread anchors are composite adhesive with synergistic hierachical organization. *Soft Matter*, 11, 2394-2403.
5. Autumn, K. (2006). How gecko toes stick. *America Scientis*, 94, 124-132.
6. K., A. (2002). Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. *PNAS*, 99 no. 19, 12252–12256.
7. Gottschalk, E. (March 2014). Visualizing Dispersion Interactions. *J. Chem Educ*, 51(5), 666-672.
8. Peng, Z. (2016). The microstructure morphology on ant footpads and its effect on ant adhesion. *Acta Mechanica*, (p. 2025-2037).
9. N. Pugno, E. Lepore, S. Toscano, F. Pugno, *The Journal of Adhesion*, 87:1059–1072, 2011
10. Mahendra, B. C., *Proc. Indian. Acad. Sci.* 13, 288–306 (1941).
11. Zanichelli\_esploriamolachimica\_cap\_11

## Link

<http://www.focus.it/ambiente/animali/come-fanno-le-mosche-a-camminare-sui-vetri-senza-scivolare>

<http://www.nationalgeographic.it/natura/animali/2014/02/21/news/come-fanno-i-ragni-a-camminare-e-a-testa-in-gi-sapevatelo-1996372/>

## Video

[7] <http://vimeo.com/3298046> il gecko con polimero che si arrampica -2008 durata 4'

[8]<http://www.youtube.com/watch?v=anbqiBUmKIA> il gecko robot e gecko nano tubi di carbonio Sticky Bot durata 9'

## Immagini

Wikipedia

<https://phet.colorado.edu/sims>

Foto prof.ssa Scorzoni Cinzia