

SPECIE CHIMICHE E GENERALI NATURALI (Mauro Murzi)

1. I generi naturali

Un genere naturale è una classe i cui membri condividono proprietà importanti. Le specie biologiche, gli elementi chimici e le particelle elementari sono generi naturali. Le costellazioni non sono un genere naturale, ma raggruppamenti convenzionali di stelle.

Tra i filosofi non esiste un consenso sullo status dei generi naturali. Alcuni filosofi sostengono una posizione nota come *essenzialismo*. L'essenzialismo ha una lunga tradizione che risale a Platone e Aristotele. In tempi più recenti ha trovato una chiara formulazione in Locke. La versione contemporanea è dovuta a Saul Kripke e Hilary Putnam. L'essenzialismo distingue tra proprietà macroscopiche osservabili e proprietà microscopiche essenziali. Ad esempio, si può identificare un liquido come acqua tramite la proprietà macroscopica di bollire a 100°C e solidificare a 0°C. Tuttavia, l'essenza dell'acqua è la composizione della sua molecola che contiene due atomi di idrogeno e uno di ossigeno.

Brian Ellis, sostenitore dell'essenzialismo, ha formulato sei condizioni che caratterizzerebbero la corretta classificazione in generi naturali¹. La classificazione deve essere:

- (1) oggettiva, ossia indipendente dai nostri interessi, dagli strumenti di osservazione e dalle convenzioni;
- (2) netta, ossia i confini tra i generi naturali devono essere esattamente tracciabili;
- (3) intrinseca, ossia basata sulle proprietà intrinseche degli oggetti, non sulle proprietà relazionali;
- (4) completa, ossia gli oggetti che hanno proprietà intrinseche diverse devono appartenere a generi naturali diversi;
- (5) disgiunta, ossia due generi naturali diversi non possono avere elementi in comune;
- (6) essenziale, ossia deve individuare i generi naturali mediante le proprietà essenziali.

Altri filosofi sostengono una visione nota come *pluralismo*. Il pluralismo nega i punti (1) e (2). Secondo il pluralismo, la classificazione dipende dagli interessi dello scienziato e dagli strumenti di osservazione. Il pluralismo sostiene che non esistono confini precisi tra i generi naturali. Le classificazioni – argomenta il pluralismo – si basano su grandezze fisiche continue. L'impossibilità di tracciare un confine netto tra i valori di una grandezza fisica continua produce confini incerti tra i generi naturali. La critica del pluralismo alla condizione (2) ha diretta influenza sulla condizione (5). Poiché i confini tra i generi naturali non sono netti, può accadere che generi naturali diversi abbiano elementi in comune. L'aspirazione dell'essenzialismo a una classificazione completa – punto (4) – si scontra, secondo il pluralismo, con l'assenza di un limite inferiore alla divisibilità dei generi naturali. Il pluralismo nega anche il punto (6): l'esistenza di proprietà essenziali sarebbe la fonte di una classificazione univoca ed è quindi incompatibile con il pluralismo. Il punto (3) cade come conseguenza della critica del punto (1): la classificazione non può basarsi solo su proprietà intrinseche poiché essa dipende – ad esempio – dagli strumenti di osservazione.

L'essenzialismo contemporaneo deve molto a un celebre esperimento mentale proposto da Putnam². Alcuni scienziati terrestri si recano su un pianeta, Terra Gemella, ove tutto sembra simile alla Terra. Su Terra Gemella scorre un liquido che ha le medesime proprietà macroscopiche dell'acqua. Gli scienziati terrestri scoprono che la molecola del liquido di Terra Gemella non è composta di due atomi di idrogeno e uno di ossigeno. Putnam afferma che gli scienziati terrestri non classificherebbero il liquido di Terra Gemella come acqua. Esso ha le stesse proprietà macroscopiche dell'acqua, ma ha una diversa composizione chimica: quindi non è acqua. L'essenza dell'acqua è determinata dalla composizione chimica della sua molecola, non dalle proprietà macroscopiche. La composizione chimica è una proprietà oggettiva, intrinseca ed essenziale. Sono così giustificati i punti (1), (3) e (6). La classificazione basata sulla composizione chimica ha confini netti. Sono così giustificati i punti (2) e (5). Infine, composti aventi proprietà intrinseche diverse (ossia, una diversa composizione chimica) sono classificati in modo diverso. Si giustifica così il punto (4). Il ricorso alla composizione chimica come base per la classificazione dei composti favorirebbe dunque

1 B. ELLIS, *Scientific essentialism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001, 19-21.

2 H. PUTNAM, *The meaning of 'Meaning'*, in K. GUNDERSON (a cura di), *Language, mind and knowledge*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1975, 131-193.

la tesi dell'essenzialismo e proverebbe la correttezza dei sei requisiti proposti da Ellis. Non mi addentererò in un'analisi dell'esperimento mentale proposto da Putnam. Osservo che, invece di attardarsi nel descrivere una situazione irrealistica³, è più interessante studiare il modo con il quale i chimici classificano i composti.

L'obiettivo di questo articolo è confrontare l'essenzialismo e il pluralismo nell'ambito della classificazione dei composti chimici. Per evitare che il lettore debba cercare altrove la spiegazione dei concetti scientifici coinvolti, farò precedere la discussione filosofica da una spiegazione dei principi utilizzati in chimica per descrivere la struttura molecolare dei composti⁴.

2. I composti chimici

Gli idrocarburi contengono solo atomi di idrogeno (H) e carbonio (C). Gli alcani sono idrocarburi con formula chimica C_nH_{2n+2} per valori interi di n . Il più semplice alcano è il metano, la cui molecola è composta di un atomo di carbonio e di quattro atomi di idrogeno. La formula grezza (\rightarrow)⁵ del metano è CH_4 . Essa indica quali e quanti atomi compongono una molecola di metano, ma non indica i legami (\rightarrow) tra gli atomi. La formula di struttura (\rightarrow) (figura 1a) fornisce anche questa informazione: l'atomo di carbonio è legato ai quattro atomi di idrogeno, mentre non esistono legami tra gli atomi di idrogeno. La formula di struttura non fornisce indicazioni sulla disposizione spaziale degli atomi. Nel metano, gli atomi di idrogeno formano tra loro angoli di circa 109° e non giacciono su uno stesso piano. Per rappresentare questa informazione si usa il modello a biglie e bastoncini (figura 1b), il cui nome deriva dal fatto che i primi modelli erano oggetti fisici veri e propri costruiti con biglie e bastoncini.

Armati di queste diverse rappresentazioni, vediamo alcuni alcani più complessi. L'etano (figure 2a e 2b) ha formula grezza C_2H_6 . Il propano (figure 3a e 3b) ha formula grezza C_3H_8 . Il successivo idrocarburo della serie degli alcani ha formula grezza C_4H_{10} . A questo punto, si manifesta un fenomeno interessante: esistono due idrocarburi diversi che hanno la stessa formula grezza C_4H_{10} . Infatti, ci sono due modi diversi di collegare tra loro gli atomi di una molecola composta di quattro atomi di carbonio e di dieci atomi di idrogeno (figure 4a e 4b). I due composti si chiamano butano e isobutano. Hanno la stessa composizione chimica, ma i loro atomi sono legati in modo diverso. Il butano e l'isobutano sono chiamati isomeri (\rightarrow) costituzionali. Gli isomeri costituzionali hanno parti uguali disposte in modo diverso. Essi hanno proprietà fisiche diverse. Ad esempio, il butano bolle a $-0.4^\circ C$ mentre l'isobutano bolle a $-10.2^\circ C$. La composizione chimica non è sufficiente a identificare univocamente un composto. Gli isomeri costituzionali sono composti diversi che hanno la stessa composizione chimica.

Consideriamo una molecola composta di un atomo di bromo Br, un atomo di fluoro F, un atomo di cloro Cl e un atomo di idrogeno H, ciascuno legato a un atomo centrale di carbonio C. Esistono due diverse disposizioni spaziali degli atomi di questa molecola (figura 5). Le due molecole sono immagini speculari non sovrapponibili e sono chiamate enantiomeri (\rightarrow). Gli enantiomeri hanno le stesse proprietà fisiche, tranne una: orientano in modo diverso il piano di polarizzazione di un fascio di luce polarizzata che li attraversa. Le proprietà biologiche degli enantiomeri sono diverse. Ad esempio, il farmaco L-dopa è attivo contro il morbo di Parkinson, mentre il suo enantiomero D-dopa è inefficace. In alcuni casi, l'enantiomero di un farmaco può essere dannoso. Fu questo il caso del talidomide, usato negli anni cinquanta e sessanta del secolo scorso contro la nausea in gravidanza. Il talidomide era composto di due enantiomeri, uno efficace, l'altro teratogeno. L'enantiomero teratogeno provocò la nascita di bambini affetti da focomelia. Un altro esempio è fornito dagli enantiomeri del glucosio. Il D-glucosio è una fonte importante di energia per gli organismi viventi, mentre l'enantiomero L-glucosio non è digeribile. La formula di struttura (ossia, la descrizione di quanti e quali atomi formino una molecola e di come siano legati tra loro) non è suffi-

3 La situazione descritta da Putnam è irrealistica non perché sia ambientata su un pianeta alieno, ma perché descrive una condizione iniziale fisicamente impossibile: due composti che hanno le stesse proprietà macroscopiche ma una diversa composizione chimica. La fisica e la chimica moderne indicano che ciò è impossibile. Se il liquido di Terra Gemella e l'acqua della Terra hanno una diversa composizione chimica, allora necessariamente esiste qualche differenza macroscopica tra i due liquidi.

4 Le informazioni sono estratte, salvo diversa indicazione, da F. A. CAREY e R. M. GIULIANO, *Organic chemistry*, New York, McGraw-Hill, 2011.

5 Il simbolo (\rightarrow) rinvia al glossario.

ciente a identificare univocamente i composti. Gli enantiomeri sono composti diversi che hanno la stessa composizione chimica e i medesimi legami tra gli atomi.

Parliamo adesso degli isomeri (\rightarrow) conformazionali, che differiscono tra loro per una diversa rotazione degli atomi intorno ai legami. Un esempio è l'acqua ossigenata H_2O_2 (figura 6). I due isomeri conformazionali mostrati differiscono per una rotazione di 180° di un atomo di idrogeno intorno al legame tra i due atomi di ossigeno. Variando in modo continuo l'angolo di rotazione dell'atomo di idrogeno, si ottengono infiniti isomeri conformazionali dell'acqua ossigenata. Soffermiamoci sugli isomeri conformazionali di alcuni idrocarburi. Due conformazioni dell'etano, chiamate conformazione eclissata e sfalsata, sono mostrate nelle figure 7a e 7b. Esistono infinite conformazioni intermedie, ciascuna definita da un diverso angolo di rotazione degli atomi di idrogeno. Ciascuna conformazione ha una diversa energia potenziale. La conformazione eclissata ha la maggiore energia potenziale, a causa della forza di repulsione tra gli atomi di idrogeno, più vicini in questa conformazione che nelle altre. La conformazione più stabile – quella con la minima energia potenziale – è la conformazione sfalsata. La figura 8 mostra il diagramma dell'energia potenziale in funzione di una rotazione completa di 360° degli atomi di idrogeno intorno al legame tra i due atomi di carbonio. Nel butano, la conformazione sfalsata si suddivide in due forme principali (figura 9). Il grafico dell'energia potenziale delle diverse conformazioni del butano è qualitativamente diverso dal corrispondente grafico dell'etano (figura 10). Le molecole passano da una conformazione all'altra in tempi rapidissimi. Alla temperatura di $25^\circ C$, una molecola di etano oscilla tra le varie conformazioni in circa 10^{-6} secondi. In ogni istante, la maggior parte delle molecole di un composto si trova nella configurazione con la minima energia potenziale.

Questa breve sezione termina con un esempio tratto dalla chimica degli zuccheri. La formula di struttura del ribosio è mostrata in figura 11a. La struttura rappresentata è lineare. Tuttavia, in una soluzione acquosa, le molecole di ribosio non hanno forma lineare ma ad anello, come quelle nella figura 11b (questo tipo di rappresentazione è chiamato formula di Haworth). Le molecole passano da una forma all'altra molto velocemente. I diversi isomeri sono presenti contemporaneamente in una soluzione acquosa. Nel D-ribosio, un enantiomero del ribosio, le proporzioni tra i diversi isomeri sono: alfa-D-piranosio=20%, beta-D-piranosio=56%, alfa-D-furanosio=6%, beta-D-furanosio=18%, forma lineare < 1%. Quindi, il ribosio è composto di molecole con strutture diverse (lineare, ad anello con cinque o sei atomi e relativi isomeri) presenti contemporaneamente in una determinata proporzione. Queste molecole passano velocemente da una struttura all'altra. La proporzione tra le diverse strutture è costante, ma la struttura di ciascuna molecola è variabile.

3. Conseguenze per l'essentialismo

Quando il filosofo essentialista parla dell'acqua, il suo discorso scorre bene. L'essenza dell'acqua è avere una molecola composta di due atomi di idrogeno e uno di ossigeno. La classificazione dell'acqua segue i sei principi formulati da Ellis. L'esistenza di isotopi (\rightarrow) dell'idrogeno pone problemi facilmente risolvibili. Gli isomeri conformazionali dell'acqua possono essere trascurati. Essi non formano generi naturali indipendenti, ma sono istanze distinte di un unico genere. Tuttavia, l'esempio dell'acqua è troppo semplice. L'assenza di isomeri costituzionali dell'acqua consente di trascurare la disposizione spaziale degli atomi. Consideriamo un caso più realistico, nel quale gli isomeri hanno un ruolo importante, ad esempio gli zuccheri. Il ribosio è un genere naturale non ulteriormente analizzabile?

Supponiamo che l'essentialismo risponda affermativamente: il ribosio è un genere naturale non ulteriormente analizzabile. La classificazione che si ferma al genere "ribosio", senza distinguere i due generi "D-ribosio" e "L-ribosio", è completa? La differenza tra i due enantiomeri è microscopica e macroscopica. A livello microscopico, le due molecole hanno un diverso orientamento nello spazio. A livello macroscopico, il D-ribosio è un alimento, mentre l'enantiomero L-ribosio non è digeribile. In genere, è corretto trascurare la differenza tra due enantiomeri? Ad esempio, si possono considerare la D-dopa e la L-dopa come membri del medesimo genere, anche se la seconda è un farmaco utile per controllare i sintomi del morbo di Parkinson, mentre la prima è inefficace? E cosa dovremmo dire del talidomide? Ha senso classificare una sostanza teratogena e una sostanza farmacologicamente utile come esempi dello stesso genere naturale? Supponiamo che l'essentialismo trovi una risposta adeguata. Si presenterebbe un ulteriore problema più serio. In soluzione acquosa, il ribosio è composto di molecole di cinque specie diverse: alfa-ribo-

furanosio, alfa-ribopiranosio, beta-ribofuranosio, beta-ribopiranosio e ribosio lineare. La differenza di struttura è evidente: il ribosio lineare è, ovviamente, lineare; le altre specie sono chiuse ad anello, con cinque atomi (furanosio) o sei atomi (piranosio). Gli isomeri alfa e beta si distinguono perché i gruppi OH giacciono tutti dalla stessa parte dell'anello (alfa) o da parti opposte (beta). Il principio di completezza della classificazione dovrebbe indurre l'essenzialista a classificare queste cinque specie chimiche come generi naturali distinti.

Cosa accadrebbe se l'essenzialismo riconoscesse le cinque specie di ribosio come generi naturali distinti? In tal caso, la classificazione rispetterebbe i sei punti esposti da Ellis? Il punto (2) – la classificazione deve essere netta, ossia i confini tra i generi naturali devono essere esattamente tracciabili – pone seri problemi. Le molecole passano da una configurazione all'altra: il genere naturale al quale appartiene una molecola cambia continuamente. Inoltre, la stabilità delle specie di ribosio dipende dall'ambiente. Sotto forma di polvere solida, le specie sono stabili. Possiamo ottenere un campione di ribosio in polvere composto quasi esclusivamente di molecole di una determinata specie. Se poniamo la polvere in acqua, in poco tempo il campione sarà composto delle cinque specie di ribosio. Quindi, il genere naturale al quale apparterebbe una molecola dipenderebbe dall'ambiente circostante, violando il principio (3) – la classificazione deve dipendere da proprietà intrinseche, non da proprietà relazionali. La classificazione si baserebbe comunque sulle proprietà essenziali delle molecole; sarebbe una classificazione completa, disgiunta e oggettiva. Si salverebbero quattro principi su sei – e ci sarebbe spazio per proporre forme modificate dei restanti due principi che sopravvivano anche in questo caso. Quale sarebbe la proprietà essenziale dei generi naturali? Non certo la composizione chimica né i legami tra gli atomi. Dovrebbe essere la disposizione spaziale tridimensionale degli atomi: molecole con forma diversa apparterebbero a generi naturali diversi. Questa regola funziona in altri casi? Ahimè, no. Consideriamo l'acqua ossigenata. Esistono infinite specie diverse della molecola di acqua ossigenata, ciascuna caratterizzata da un diverso angolo di rotazione dell'atomo di idrogeno intorno al legame tra i due atomi di ossigeno. Il problema è che la forma di una molecola dipende da parametri continui, quali la rotazione intorno a un legame o angoli e distanze tra atomi. Una grandezza continua può assumere tutti i valori numerici intermedi tra il massimo e il minimo. Quindi, in linea di principio, esisterebbero infiniti generi naturali distinti di acqua ossigenata. Sembrerebbe un'esagerazione. Consideriamo il grafico dell'energia potenziale della molecola di butano (figura 10). Esistono infinite specie della molecola di butano, ciascuna corrispondente a una diversa energia potenziale. Queste forme hanno una diversa disposizione spaziale degli atomi e dei legami. Quindi, in base alla regola che molecole con forma diversa appartengono a generi naturali diversi, il butano si dovrebbe suddividere in infiniti generi naturali.

E se l'essenzialismo non riconoscesse le specie di ribosio come generi naturali distinti? Può l'essenzialismo percorrere questa strada? Il cammino è sbarrato da un ostacolo formidabile: le specie diverse hanno proprietà macroscopiche diverse. L'essenzialismo si troverebbe nella strana situazione di specie aventi la medesima struttura essenziale, ma che manifestano proprietà macroscopiche diverse. L'essenza di un genere naturale non determinerebbe le proprietà dei membri di quel genere. Non so se un essenzialista sarebbe disposto a un simile passo. Credo però fermamente che un'essenza che non determini le proprietà intrinseche di un oggetto non sia un'essenza. In altri termini, se l'essenzialismo riconosce il ribosio come genere naturale non ulteriormente analizzabile, deve anche riconoscere che l'essenza non determina le proprietà intrinseche degli oggetti. Quindi, deve o abbandonare i principi (3) e (4) – completezza della classificazione basata sulle proprietà intrinseche – oppure deve rinunciare al principio (6), il principio cardine dell'essenzialismo.

L'essenzialismo si trova di fronte al dilemma seguente: accettare il principio della completezza della classificazione, generando un'infinità di generi naturali diversi, definiti da parametri fisici continui – il che impedirebbe di fatto la creazione di confini netti – oppure terminare a un certo livello la suddivisione in generi naturali, ottenendo una classificazione netta che trascura proprietà essenziali.

La chimica mostra che i sei principi sopra esposti non possono essere validi contemporaneamente. Se sono veri i principi (6) e (4) – completezza della classificazione basata sulle proprietà essenziali – non possono essere veri i principi (1) perché la classificazione di una molecola dipende dall'ambiente in cui la si osserva, (2) perché la classificazione si basa su grandezze fisiche continue che non ammettono distinzioni nette, (3) perché la classificazione della molecola è determinata dalla relazione con l'ambiente e (5) perché

l'assenza di una distinzione netta rende possibile classificare una molecola in due generi naturali diversi. Cosa può salvare l'essentialista?

Il principio (6) è fondamentale per l'essentialismo. Quindi, poiché i principi (6) e (4) insieme creano conseguenze indesiderabili, l'essentialista dovrebbe abbandonare il principio (4). Rinunciando alla completezza della classificazione, si possono salvare i principi (2) e (5). Ad esempio, il ribosio è distinguibile dagli altri zuccheri (classificazione netta); nessuno zucchero può essere contemporaneamente classificato come ribosio e, diciamo, glucosio (classificazione disgiunta). Il punto (3) deve essere abbandonato, perché le proprietà intrinseche degli isomeri del ribosio sono diverse, mentre l'essentialista non può spingersi così a fondo nella classificazione. E il principio (1)? Se l'essentialismo non può basarsi sulle proprietà intrinseche per la classificazione e deve trascurare qualche proprietà che a ragione potremmo ritenere essenziale, l'unico modo per evitare l'esplosione dei generi naturali è adottare un qualche criterio estraneo alle proprietà e alla struttura della molecola – un criterio, cioè, non oggettivo, ma dipendente dai nostri interessi o dai nostri metodi e strumenti di osservazione. In conclusione, l'essentialismo può al massimo sperare di salvare i principi (2), (5) e (6). La classificazione il più possibile in accordo con l'essentialismo, per essere compatibile con la chimica contemporanea, deve essere:

- (1) non oggettiva, poiché alcune proprietà delle molecole devono essere trascurate, in funzione degli interessi dello scienziato o dei metodi e degli strumenti di osservazioni;
- (2) netta, ossia i confini tra i generi naturali devono essere esattamente tracciabili;
- (3) parzialmente intrinseca, poiché alcune proprietà intrinseche devono essere trascurate e talvolta si deve ricorrere a proprietà relazionali;
- (4) incompleta, lasciando spazio a ulteriori raffinamenti;
- (5) disgiunta, ossia due generi naturali diversi non possono avere elementi in comune;
- (6) parzialmente essenziale, ossia deve individuare i generi naturali mediante le proprietà essenziali, trascurando tuttavia alcune proprietà relative alla forma tridimensionale della molecola.

4. Come riconoscere una buona classificazione

Studiando le classificazioni impiegate in astronomia, ho proposto i sei criteri seguenti per distinguere una buona classificazione⁶. Questi criteri sono validi anche in chimica?

Il *primo criterio* è che la classificazione dipende dagli strumenti, dalle tecniche e dai metodi di osservazione, per ragioni fondamentali. Questo vale anche in chimica: la medesima molecola apparterrà a specie diverse di ribosio se è sotto forma di polvere solida o in una soluzione acquosa. La tecnica e l'ambiente di osservazione è determinante per la classificazione.

Il *secondo criterio* è che esiste un trapasso graduale di un genere in un altro. La chimica, studiando la forma delle molecole, utilizza parametri quantitativi rappresentati da grandezze fisiche continue; non può quindi esistere una linea di demarcazione netta tra generi diversi. L'assenza di un trapasso graduale sembra indicare la presenza di convenzioni, che tracciano i confini esattamente ma arbitrariamente, come quando si decide di considerare isomeri conformazionali diversi come istanze del medesimo genere.

Il *terzo criterio* afferma che le proprietà usate per classificare le entità sono relazionali, ossia l'appartenenza di un'entità a un genere naturale dipende dalle sue relazioni con altre entità. Questo è evidente nel caso del D-glucosio: la sua digeribilità non è una proprietà intrinseca, ma dipende dalla relazione con gli enzimi digestivi la cui forma tridimensionale si accoppia con il D-glucosio ma non con l'enantiomero L-glucosio.

Il *quarto criterio* è l'incompletezza della classificazione. Per evitare che ogni entità produca un genere a se stante, si devono trascurare alcune proprietà scientificamente rilevanti – è questo il caso della classificazione delle specie di ribosio. Si possono così raggruppare molte entità in pochi generi. Poiché le proprietà da trascurare sono scientificamente rilevanti, queste proprietà sono trascurate in alcuni contesti, ma non in altri contesti nei quali hanno un ruolo significativo.

Il *quinto criterio* afferma che due generi naturali diversi possono avere elementi comuni. In chimica, questo si verifica perché le molecole non sono stabili, ma si trasformano rapidamente da una specie all'altra.

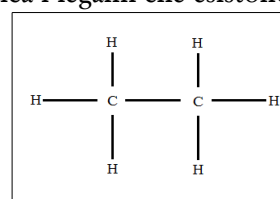
6 M. MURZI, *Galassie e generi naturali: osservazioni sulla filosofia dell'astronomia*, in "L'arrivista. Quaderni democratici", n. I/1, 9-33.

Il *sesto criterio* afferma che la classificazione dipende dalla storia degli elementi da classificare, dai luoghi in cui si trovano e da ciò che li circonda. Ciò si verifica sia per la dipendenza della forma della molecola dall'ambiente circostante (diverso comportamento in soluzione acquosa o sotto forma di solido), sia per l'interazione con gli enzimi digestivi che determinano se la molecola è digeribile o meno.

5. Glossario

enantiomeri Isomeri (\rightarrow) che sono immagini speculari non sovrapponibili. Dal greco *isos* (uguale) e *enantios* (opposto), a indicare che sono composti delle stesse parti orientate in modo opposto. La mano destra e quella sinistra sono enantiomeri: pur essendo composte nello stesso modo, non sono sovrapponibili. La proprietà di un oggetto di avere un'immagine speculare non sovrapponibile è detta chiralità, dal greco *cheir* (mano), proprio in analogia alla differenza tra la mano destra e quella sinistra. Kant ha scritto un'opera, *Del primo fondamento della distinzione delle regioni dello spazio* (1768), che utilizza la chiralità della mano per dimostrare la natura assoluta dello spazio.

formula di struttura Oltre alle informazioni contenute nella formula grezza, indica i legami che esistono tra gli atomi. La rappresentazione più utile della formula di struttura è quella bidimensionale, nella quale le molecole sono rappresentate come se fossero piane. La formula di struttura non fornisce informazioni sulla struttura tridimensionale delle molecole. La formula di struttura dell'etano, riportata a lato, contiene queste informazioni: (i) la molecola è composta di due atomi di carbonio e di sei atomi di idrogeno; (ii) gli atomi di carbonio sono legati tra loro; (iii) ciascun atomo di carbonio è legato a tre atomi di idrogeno.



formula grezza Detta anche formula bruta o formula molecolare, indica quali e quanti atomi compongono una molecola. Ad esempio, la formula C_2H_6 indica che la molecola (in questo caso, si tratta di etano) è composta di due atomi di carbonio e sei di idrogeno.

isomeri Specie chimiche composte delle medesime parti disposte in modo diverso. Dal greco *isos* (uguale) e *meros* (parte). Esistono diversi tipi di isomeri. Gli isomeri costituzionali (detti anche isomeri di struttura) hanno la stessa formula grezza ma diversa formula di struttura. Gli stereoisomeri hanno la medesima formula di struttura ma una diversa disposizione spaziale degli atomi. Tra gli stereoisomeri si possono distinguere gli enantiomeri (\rightarrow), immagini speculari non sovrapponibili, e gli isomeri conformazionali, che si distinguono per un diverso angolo di rotazione di un gruppo di atomi intorno a un legame.

isotopi Specie chimiche il cui nucleo è composto del medesimo numero di protoni e di un diverso numero di neutroni. Esempi: deuterio e trizio sono isotopi dell'idrogeno. Il nucleo dell'idrogeno è composto di un protone; il nucleo del deuterio di un protone e un neutrone; il nucleo di trizio di un protone e due neutroni. Dal greco *isos* (uguale) e *topos* (luogo), poiché gli isotopi di un elemento occupano la stessa posizione di quell'elemento nella tavola periodica degli elementi.

legami Interazioni attrattive che tengono uniti gli atomi di una molecola. Nelle formule e nei modelli, sono rappresentati mediante linee che collegano gli atomi. Esistono diversi tipi di legami. Negli esempi di questo articolo, tutti i legami sono originati dalla condivisione di una coppia di elettroni tra due atomi (legame covalente).

6. Immagini

I modelli a biglie e bastoncini dei composti chimici sono stati generati tramite il software Avogadro, uno strumento *open-source* per visualizzare e costruire modelli di molecole, versione 1.0.1, <http://avogadro.openmolecules.net/>.

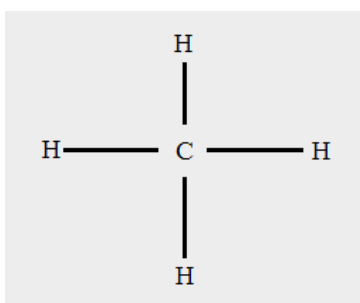


Figura 1a. Formula di struttura della molecola di metano.

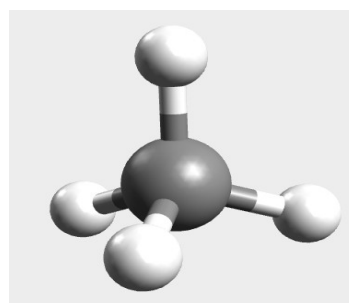


Figura 1b. Modello a biglie e bastoncini della molecola di metano.

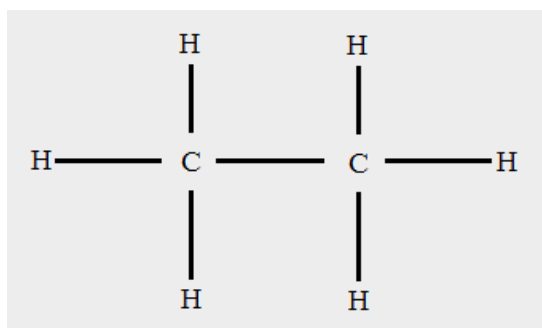


Figura 2a. Formula di struttura della molecola di etano.

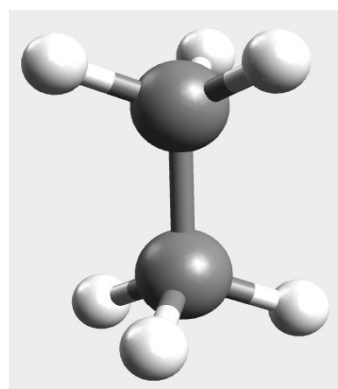


Figura 2b. Modello a biglie e bastoncini della molecola di etano.

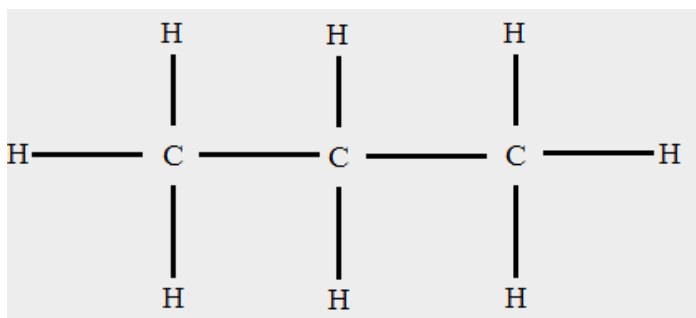


Figura 3a. Formula di struttura della molecola di propano.

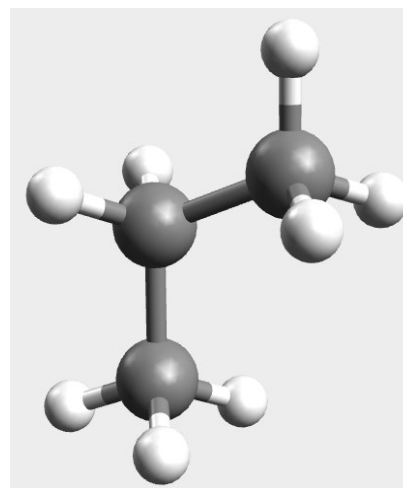


Figura 3b. Modello a biglie e bastoncini della molecola di propano.

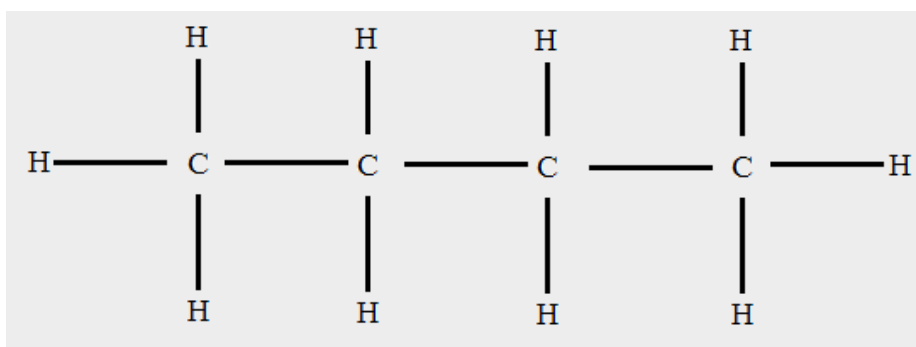


Figura 4a. Formula di struttura della molecola di butano.

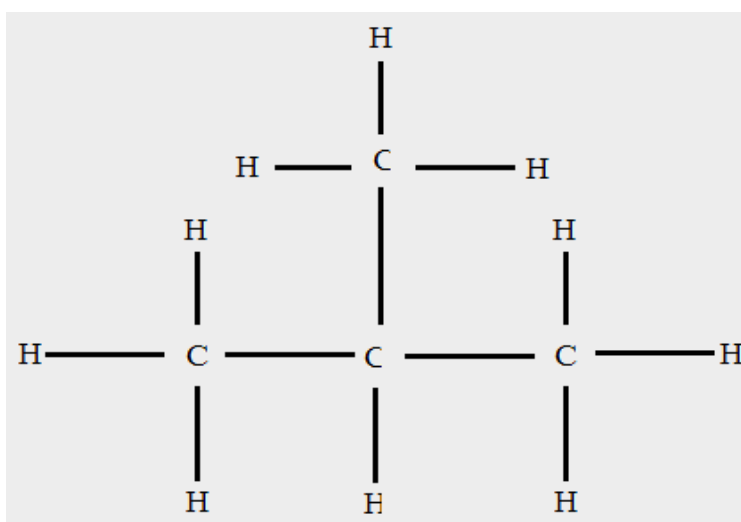


Figura 4b. Formula di struttura della molecola di isobutano.

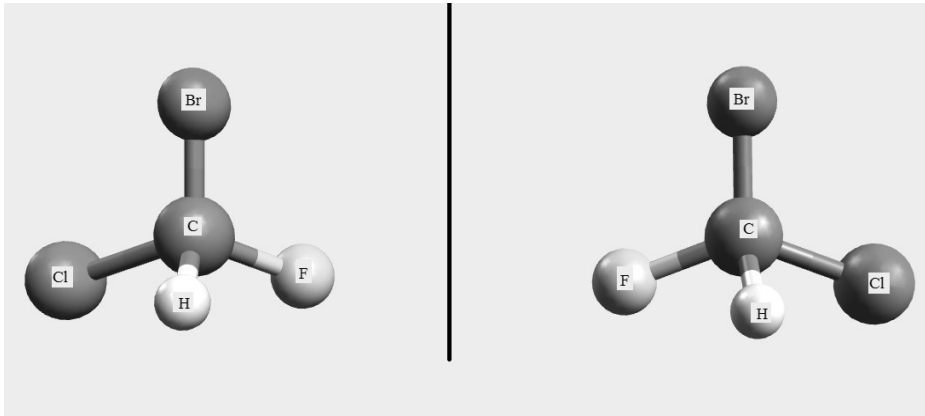


Figura 5. Immagini speculari non sovrapponibili della molecola di bromofluoroclorometano.

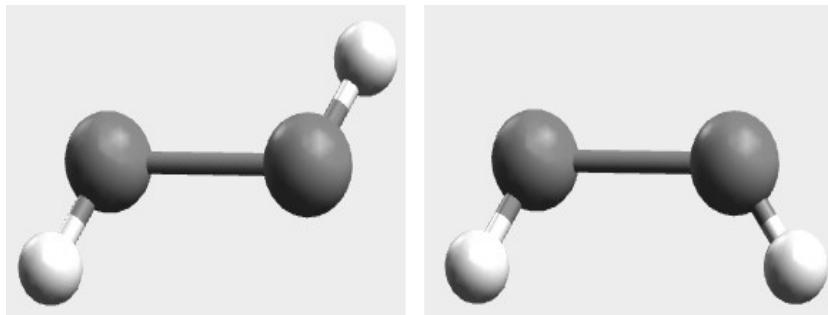


Figura 6. Due isomeri conformazionali dell'acqua ossigenata che differiscono per una rotazione di 180° di un atomo di idrogeno intorno al legame tra i due atomi di ossigeno.

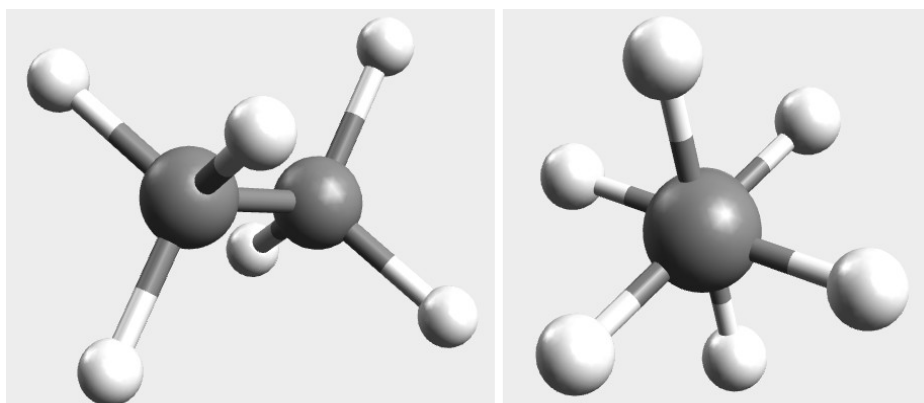


Figura 7a. Configurazione sfalsata della molecola di etano vista di lato (a sinistra) e lungo la linea che congiunge i due atomi di carbonio (a destra).

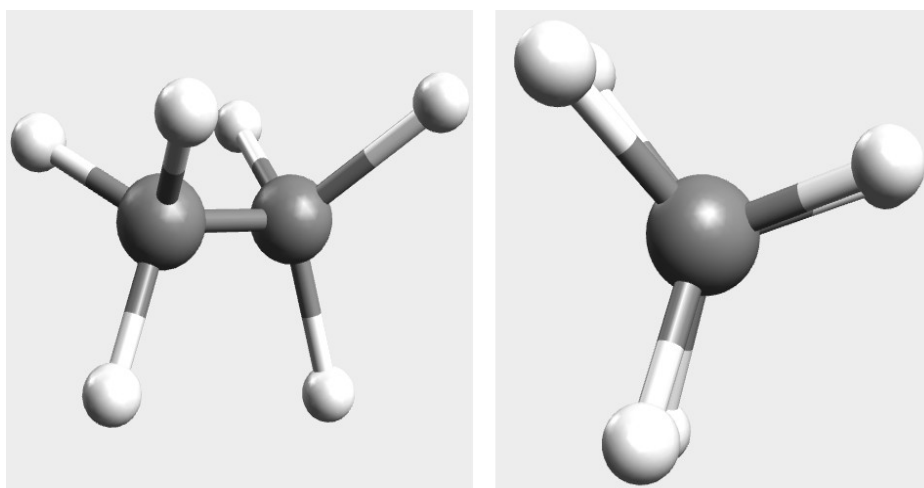


Figura 7b. Configurazione eclissata della molecola di etano vista di lato (a sinistra) e lungo la linea che congiunge i due atomi di carbonio (a destra).

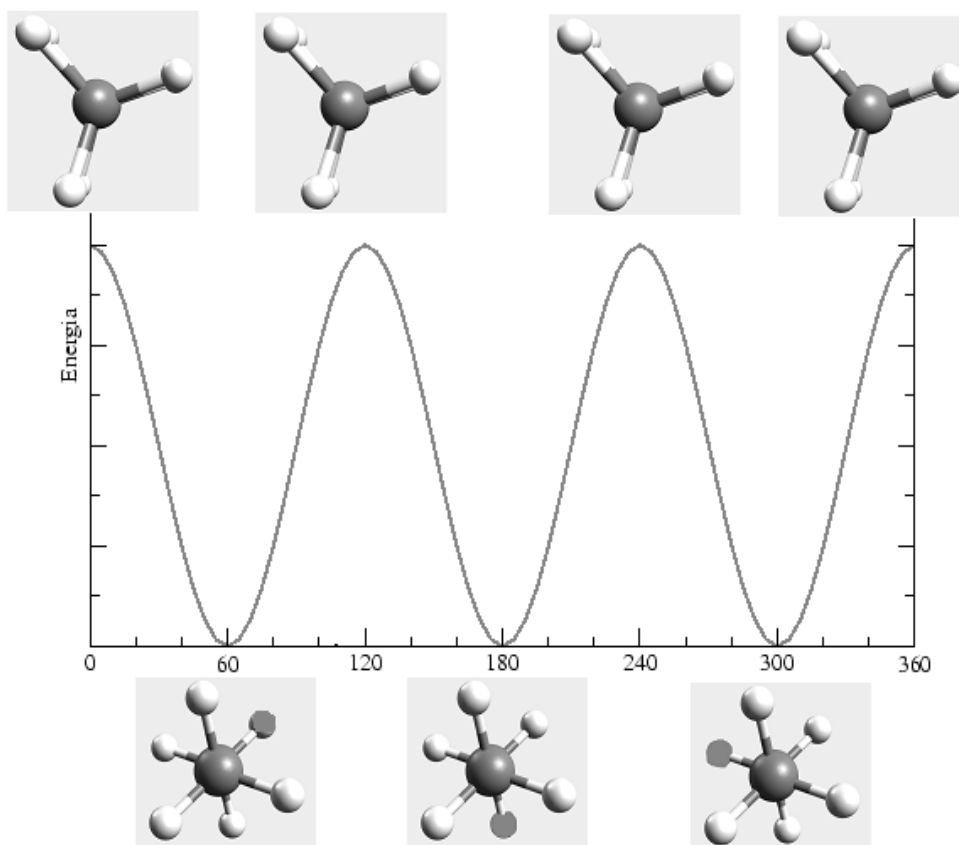


Figura 8. Grafico dell'energia potenziale della molecola di etano. Nella rappresentazione della configurazione sfalsata, un atomo di idrogeno è marcato per evidenziare l'angolo di rotazione.

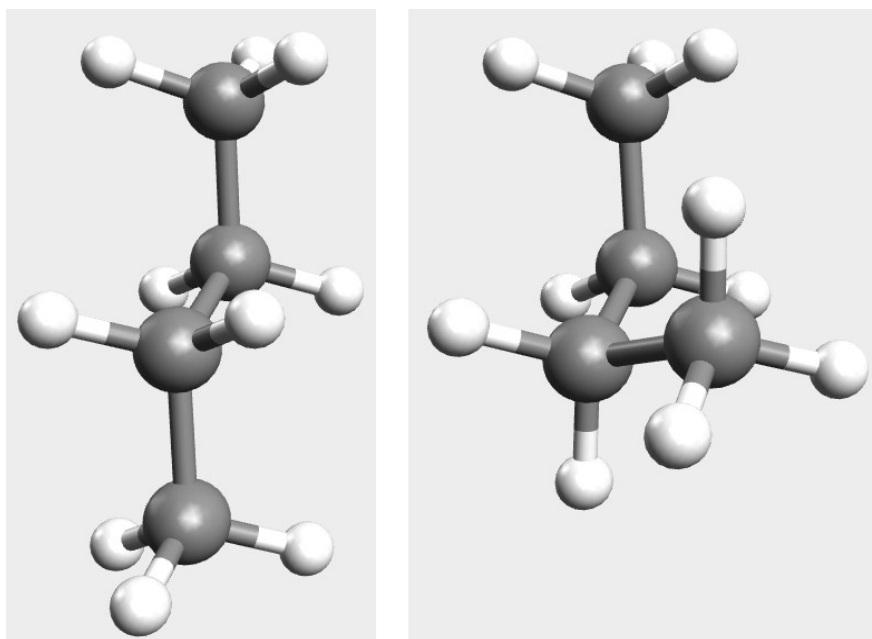


Figura 9. La configurazione sfalsata della molecola di butano assume due configurazioni principali, chiamate anti (sinistra) e gauche (destra).

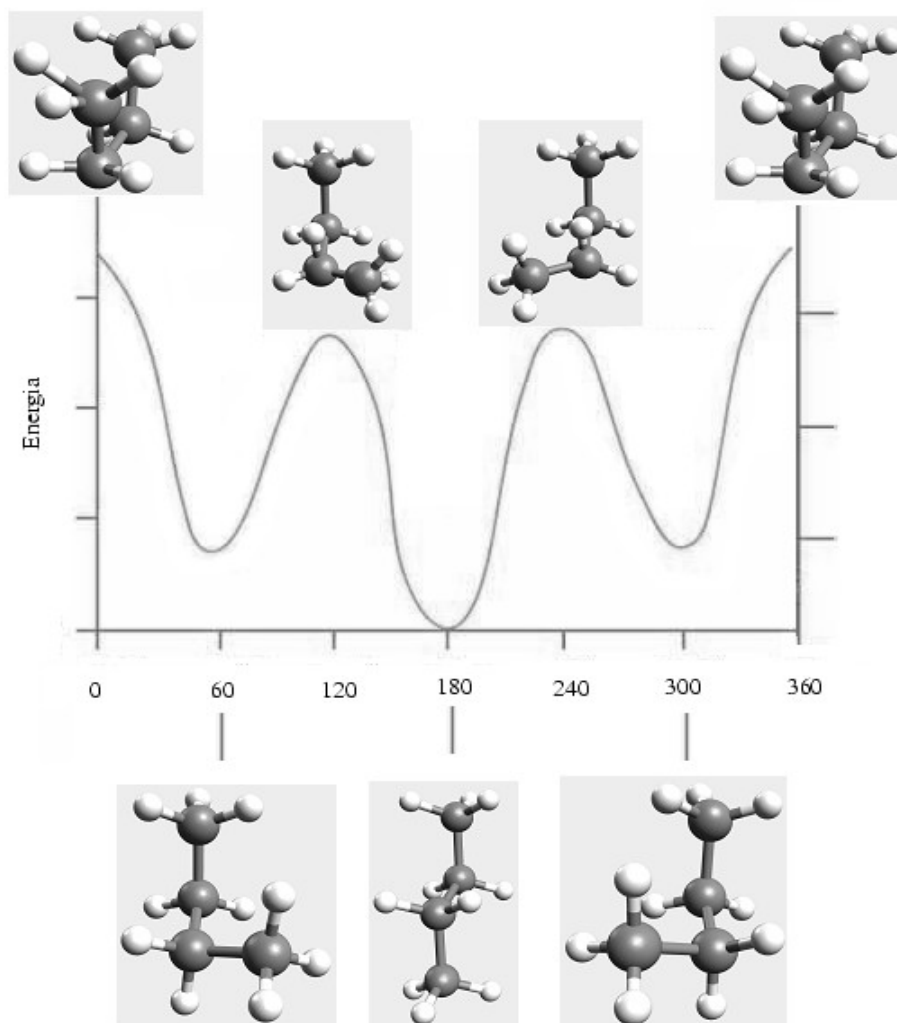


Figura 10. Grafico dell'energia potenziale della molecola di butano.

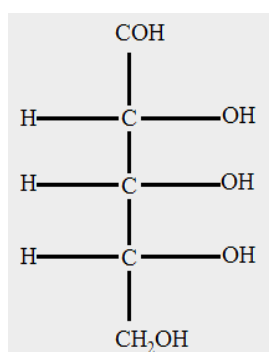


Figura 11a. Conformazione lineare del D-ribosio.

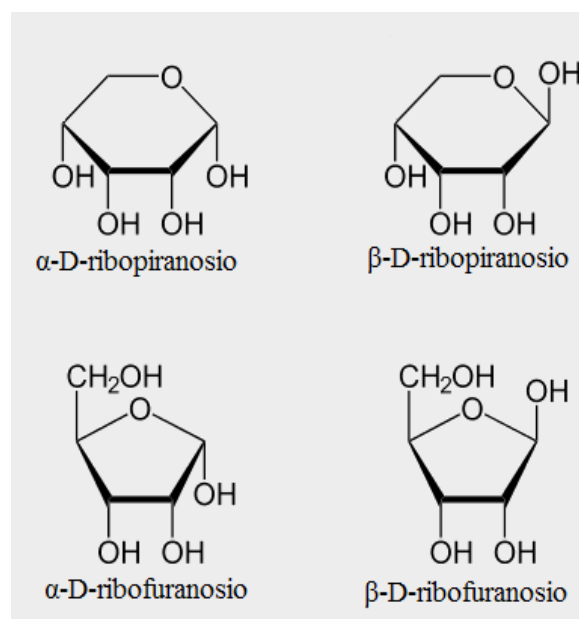


Figura 11b. Conformazione ad anello del D-ribosio. Non sono indicati gli atomi di carbonio che occupano i vertici dell'anello e gli atomi di idrogeno a essi collegati.

7. Bibliografia

- AA. VV., *Special issue on philosophical problems of chemical kinds*, in "Foundations of Chemistry", vol. 7 n. 1, January 2005, pp. 1-118.
- A. BIRD e E. TOBIN, *Natural kinds*, in E. N. ZALTA (a cura di), "The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2010 Edition)", <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2010/entries/natural-kinds/>>.
- F. A. CAREY e R. M. GIULIANO, *Organic chemistry*, New York, McGraw-Hill, 2011.
- J. DUPRÉ, *The disorder of things: metaphysical foundations of the disunity of science*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1993.
- B. ELLIS, *Scientific essentialism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- S. KRIPKE, *Identity and necessity*, in M. K. MUNITZ (a cura di) *Identity and individuation*, New York, New York University Press, 1971, 135-164, trad. it. *Identità e necessità*, in A. BONOMI (a cura di), *La struttura logica del linguaggio*, Milano, Bompiani, 2001, 259-294.
- S. KRIPKE, *Naming and necessity*, in D. DAVIDSON e G. HARMAN (a cura di), *Semantics of natural language*, Dordrecht, Reidel, 1972, 253-355, ristampato come S. KRIPKE, *Naming and necessity*, Cambridge (MA), Harvard University Press, 1980, trad. it. *Nome e necessità*, Torino, Boringhieri, 1999.
- J. LAPORTE, *Natural kinds and conceptual change*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- M. MURZI, *Galassie e generi naturali: osservazioni sulla filosofia dell'astronomia*, in "L'arrivista. Quaderni democratici", n. I/1, 9-33.
- H. PUTNAM, *The meaning of 'Meaning'*, in K. GUNDERSON (a cura di), *Language, mind and knowledge. Minnesota studies in the philosophy of science vol. 7*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1975, 131-193, ristampato in H. PUTNAM, *Mind, language and reality*, Cambridge, Cambridge University Press, 215-271, trad. it. *Mente, linguaggio e realtà*, Milano, Adelphi, 2004.
- M. H. SLATER, *Monism on the one hand, pluralism on the other*, in "Philosophy of Science", 72 (2005), 22-42.
- M. WEISBERG, P. NEEDHAM e R. HENDRY, *Philosophy of chemistry*, in E. N. ZALTA (a cura di), "The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2011 Edition)",

<<http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/chemistry/>>.