

Elena Ghibaudi e Federica Branchini

Dipartimento di Chimica - Università degli Studi di Torino

✉ elena.ghibaudi@unito.it

Uno sguardo epistemologico sul concetto di legame chimico

L'epistemologia disciplinare (p.es. quella della chimica) è la riflessione critica sul sapere prodotto da una disciplina, sui suoi concetti fondanti, sulle teorie di riferimento, sulla sua struttura logica e le sue pratiche conoscitive. Essa è dunque essenziale per definire l'identità stessa della disciplina ed intrattiene un rapporto bidirezionale con la didattica: l'epistemologia informa la didattica; d'altra parte, è la stessa trasposizione didattica a suscitare interrogativi ai quali l'epistemologia è chiamata a rispondere. Di qui l'importanza di curare il rapporto tra questi due aspetti della chimica.

Il concetto di legame chimico è un concetto fondante della chimica e contribuisce a strutturare la disciplina correlandosi ad altri concetti, quali quello di molecola, di struttura (molecolare), di valenza. La storia del concetto di legame evidenzia come il suo campo di riferimento teorico sia variato nel tempo, influenzando la definizione e la modellizzazione del legame. Tuttavia, sin dalle prime definizioni, si è tenuto a sottolinearne il *carattere immateriale*: un legame non è un ente materiale, l'ontologia del legame è di tipo relazionale. Frankland [1] ce lo ricorda, affermando che “By the term *bond*, I intend merely to give a more concrete expression to what has received various names from different chemists, such as *an atomicity, an atomic power, and an equivalence*. [...] By this term I do not intend to convey the idea of any material connection between the elements of a compound”. Vari decenni più tardi, Pauling [2] si spinge oltre, sottolineandone il carattere astratto: “*Bonds are theoretical constructs, idealizations, which have aided chemists during the past one hundred years in developing the convenient and extremely valuable classical structure theory of organic chemistry*”. Il concetto di legame è dunque uno strumento interpretativo teorico che serve a identificare una relazione privilegiata tra atomi ed intrattiene una relazione circolare con il concetto di struttura e quello di molecola: “We shall say that there is a *chemical bond between two atoms or groups of atoms in case that the forces*

acting between them are such as to lead to the formation of an aggregate with sufficient stability to make it convenient for the chemist to consider it as an independent molecular species” [2]. Le parole di Pauling sollevano una questione rilevante: riconosciamo come legame chimico solo quello tipico delle specie molecolari (ossia un legame direzionale)? Tale sembra essere la posizione di Del Re [3] che propone anche un criterio di tipo energetico: “Il nome legame dovrebbe essere *riservato ad una modalità di associazione chimica caratterizzata da energie dell'ordine delle centinaia di kJ/mol (1-10 eV), e corrispondente ad una interazione fortemente direzionale* fra gli atomi di una coppia [...] Questa limitazione esclude, per una ragione o per l'altra, non solo il legame di van der Waals, ma anche *il legame ionico e il legame metallico*; anche il legame idrogeno è piuttosto debole e andrebbe chiamato piuttosto *ponte idrogeno*”. Del Re qui afferma (giustamente) la centralità del concetto di molecola, ma si spinge anche oltre, suggerendo implicitamente una posizione preminente della chimica organica sulla chimica inorganica. Tale posizione (piuttosto radicale) non è tuttavia condivisa da tutti. Ad esempio, Paoloni [4] dapprima sottolinea il nesso tra legame e topologia e poi sostiene la prospettiva unificante della meccanica quantistica nei confronti di tutti i tipi di interazioni interatomiche: “Nelle formule molecolari strutturali di Couper e Kekulé la nozione di legame implicò quella di *adiacenza tra atomi legati* e poi, quando venne accettata l'ipotesi di Van't Hoff e di Le Bel, anche la nozione di *direzione relativa dei legami* dentro la molecola. Per molti anni, legami covalenti, ionici, dativi, metallici, a un elettrone, a tre elettroni, a ponte, donatore-accettore, chelati, coordinati, legami a idrogeno, sono stati concetti usati separatamente. *La meccanica quantistica ha reso inutile questa frammentazione concettuale* la cui perpetuazione didattica è dannosa perché tende a mantenere una dicotomia metodologica tra chimica e fisica che non ha più alcuna giustificazione”.

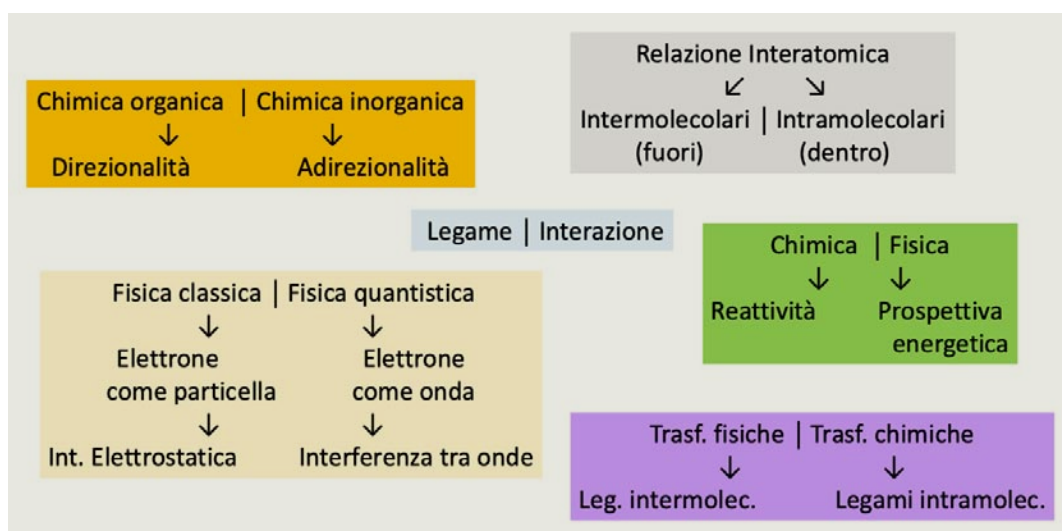


Fig. 1. Alcune dicotomie pertinenti il concetto di legame

Il confronto tra le posizioni di Del Re [3] e di Paoloni [4] evidenzia un aspetto delle interazioni interatomiche (usiamo deliberatamente una terminologia onnicomprensiva) che spesso viene trascurato in didattica: la doppia prospettiva, strutturale ed energetica, sul legame. Robin Hendry [5] ci ricorda che la visione strutturale del legame mira a ritenere “the explanatory insights afforded by classical structural formulas”. Il legame qui è inteso come relazione localizzata e direzionale tra atomi. La visione energetica invece si focalizza sulle stabilizzazioni energetiche che giustificano la formazione di interazioni interatomiche. Non vi è necessità di direzionalità né di localizzazione del legame. Secondo Hendry, la visione energetica è “more general and agnostic than the structural view”. Di fatto, questa duplicità di punti di vista evidenzia il fatto che il concetto di legame ha sia un *significato chimico* sia un *significato fisico*. Il primo è incentrato sulla reattività delle sostanze: “chemical reactions are understood in terms of the breaking and making of bonds” [5]. Il secondo considera i legami come interazioni di natura fisica e le differenzia solo sulla base dell’*entità dell’energia* di legame coinvolta (giustificando così la maggiore o minore stabilità degli addotti o aggregati che si vengono a formare). Quindi, il legame - pur poggiando su basi fisiche - non è riducibile ad esse: ha un profondo significato chimico, in quanto i chimici lo utilizzano per ragionare sulle trasformazioni delle sostanze e per giustificarne le loro proprietà chimico-fisiche. La sola prospettiva fisica non avrebbe mai condotto alla elaborazione di modelli di legame come quello di Lewis: “Lewis did not try to understand the “forces”; instead, he let himself be guided by his chemical overview to hypothesize the pairing as a quan-

tized unit of bonding, which gave the clue to the nature of the atomic combination” [6].

Queste poche righe, per nulla esaustive, sono tuttavia sufficienti a mostrare le molte ambiguità e zone d’ombra che - sul piano epistemologico - caratterizzano un concetto chimico centrale e apparentemente consolidato come quello di legame. Nell’impossibilità di una discussione più ampia, ci limiteremo ad elencare alcune dicotomie che caratterizzano il concetto di legame e che abbiamo riassunto graficamente in Figura 1, proponendo qualche interrogativo che lasciamo alla riflessione del lettore.

- Visione fisica vs. visione chimica del legame: il chimico parla di legami ponendosi nella prospettiva della reattività delle sostanze; il fisico si pone in una prospettiva energetica e differenzia le interazioni sulla base di scale di energia. *Come conciliare le due visioni nell’insegnamento della chimica?*
- Legami intramolecolari vs. intermolecolari: pur trattandosi in entrambi i casi di interazioni interatomiche che originano da una stessa base fisica, per la chimica hanno significati molto diversi rispetto alla fisica. *Meritano entrambi la qualifica di legami? ‘Derubrichiamo’ i secondi a interazioni? La chimica supramolecolare può suggerirci qualcosa?*
- Direzionalità vs. adirezionalità: in chimica organica, dove la molecola è centrale, il legame designa un’interazione direzionale. In chimica inorganica, ove si trattano sostanze ioniche e metalliche, non è così. Un terzo caso è dato dai complessi metallici. *Se il concetto di legame ‘informa’ quello di molecola, come qualificiamo le forze che tengono insieme le sostanze ioniche e metalliche?*

- La questione lessicale: c'è differenza tra legame (chimico) e interazione (interatomica)? Un fisico troverebbe la domanda insensata, laddove per il chimico è cruciale. D'altra parte, la letteratura didattica denuncia la problematicità di questa distinzione lessicale [7]. *Quale opzione adottare per l'ambito didattico?*
- Descrizione del legame secondo la prospettiva classica vs. quella quantistica. Questa dicotomia è frutto di una evoluzione storica che porta ad una modifica radicale della descrizione del legame chimico: nella descrizione classica, l'elettrone viene trattato come particella carica e le interazioni di legame vengono trattate riferendosi alle leggi dell'elettrostatica e dell'elettromagnetismo (lasciando vari problemi irrisolti). Nella descrizione quantistica l'elettrone viene trattato come onda e il legame diventa una figura di interferenza tra onde. Ciò risolve vari problemi, ma ne apre altri (ad es. riguardo al rapporto tra legame e struttura molecolare). *Quale opzione adottare per ciascun livello di apprendimento?*
- Classificazione delle trasformazioni: le trasformazioni fisiche vengono spesso descritte come processi che implicano la rottura di legami intermolecolari, mentre quelle chimiche implicherebbero la rottura di legami intramolecolari. *Se il legame chimico riguarda un aggregato di atomi che sia stabile rispetto alle trasformazioni fisiche, come classificare la vaporizzazione di un metallo*

o la denaturazione di una proteina? Deve prevalere una prospettiva microscopica (focalizzata sui legami) o una macroscopica (focalizzata sulla persistenza o meno delle sostanze)?

Nella maggior parte dei casi, le domande qui proposte non contengono una risposta univoca: questa dipende da scelte di natura epistemologica. Di qui l'importanza, per chi insegna, di chiarire la propria posizione epistemologica rispetto alle questioni che affronta in aula.

Bibliografia

- [1] E. Frankland, *J. Chem. Soc.*, 1878, **19**, 372.
- [2] L. Pauling, *La natura del legame chimico*, Cornell University Press, Ithaca, 1960.
- [3] G. Del Re, *Chimica nella Scuola*, 1996, **5**, 155.
- [4] L. Paoloni, *La chimica e l'industria*, 1977, **49**, 37.
- [5] R. Hendry, *Philosophy of Science*, 2008, **75**, 909.
- [6] S. Shaik, *J. Comput. Chem.*, 2007, **28**, 51.
- [7] T. Levy Nahum, R. Mamlok-Naaman, A. Hofstein, K. S. Taber, *Studies in Science Education*, 2010, **46**(2), 179, DOI: 10.1080/03057267.2010.504548.

Video



Per il video della relazione completa, clicca il seguente link: https://youtu.be/aGGN_yiKjal

Eleonora Aquilini^{a,b} e Antonio Testoni^a

a) Divisione di Didattica della SCI; b) Liceo Artistico “F. Russoli” di Pisa

✉ ele.aquilini6@gmail.com; ajteston@tin.it

Struttura atomica e legame chimico secondo Lewis

Quello che andremo a presentare rappresenta il tentativo di ricostruire il contesto storico e concettuale all'interno del quale è maturato il modello/teoria di Lewis, per capirne la sua portata e valutarne una “trasposizione didattica sensata”, cioè una narrazione che sia, per quanto possibile, aderente a ciò che è effettivamente avvenuto. Ragion per cui va affrontata una questione fonamen-

tale: com'è stato possibile, nei primi anni del '900, avere una visione così particolareggiata della struttura atomica, tale da poter definire il numero di elettroni presenti nei vari strati/gusci all'interno dell'atomo? Questa non è una questione che attiene unicamente alla storia della chimica, ma anche e soprattutto alla didattica, per almeno due buone ragioni: