

A cura dei coordinatori e dei componenti dei rispettivi gruppi

Restituzione dei Gruppi di Lavoro

Il metodo adottato dalla questa Scuola riserva un ruolo centrale alla discussione: in questa edizione essa è avvenuta all'interno di quattro gruppi tematici di composizione eterogenea (docenti universitari e docenti della scuola). Il problema della trasposizione didattica del concetto del legame chimico è stato preso in esame secondo quattro distinte prospettive:

1. la prospettiva storico-epistemologica;
2. la prospettiva della continuità didattica e concettuale tra scuola e università (requisiti);
3. la prospettiva del sapere disciplinare;
4. la prospettiva delle problematiche didattiche.

Ciascun gruppo di lavoro ha elaborato le proprie riflessioni privilegiando una di queste prospettive. Tuttavia, com'era inevitabile, le prospettive si sono intersecate e si sono verificate convergenze nelle conclusioni raggiunte da questo o quell'altro gruppo.

Qui di seguito riportiamo le principali riflessioni elaborate nei gruppi. Ad esse seguono alcune considerazioni conclusive, mirate ad evidenziare i punti di convergenza e gli aspetti più rilevanti emersi dalla discussione nei gruppi.

Piano storico-epistemologico

Coordinatori: Elena Ghibaudi e Giovanni Villani

Componenti del gruppo: Marino Cofler, Chiara Corradi, Salvatore Leocata, Giacomo Melani, Luca Rigamonti

Il gruppo si è posto l'obiettivo di discutere *gli aspetti storico-epistemologici relativi al concetto di legame chimico e alla sua trasposizione didattica*. È stato notato che il concetto di legame viene abitualmente trattato a prescindere da alcune considerazioni rilevanti, sia sul piano concettuale che didattico:

- l'aspetto modellistico non è generalmente messo in evidenza (ossia è lasciato implicito) oppure non si ha cura di esplicitare il campo di esistenza dei modelli proposti;
- le problematiche concrete che sollecitano la for-

mulazione del concetto di legame e l'elaborazione di modelli congruenti non vengono generalmente evidenziate;

- i differenti modelli di legame sono considerati singolarmente e raramente si ha cura di connetterli tra loro in un percorso concettuale coerente, che rifletta anche l'evoluzione storica di tali modelli.

La riflessione epistemologica, ossia relativa alla natura del sapere che viene insegnato, dovrebbe essere coltivata da tutti i docenti, in quanto fornisce strumenti utili a definire consapevolmente i confini della propria azione didattica in relazione all'utenza alla quale ci si rivolge.

Ecco alcuni aspetti prettamente *epistemologici* che vanno tenuti presenti nell'affrontare il concetto di legame.

- Necessità di chiarire il ruolo e le caratteristiche dei *modelli* nella interpretazione scientifica della realtà e modalità della loro trasposizione didattica
- In merito alla differenziazione tra *interazione* e *legame*: questa distinzione è tipica dei testi di chimica. Le finalità conoscitive e l'apparato concettuale della chimica necessitano di differenziare la vasta gamma di interazioni interatomiche in *legami chimici* e *interazioni intermolecolari*. Questa differenziazione è significativa nel contesto chimico, mentre non trova riscontro in quello fisico, i cui scopi conoscitivi sono del tutto diversi. Esiste dunque una *specificità chimica* del concetto di legame.
- In relazione al punto precedente, è opportuna una riflessione sul significato delle classificazioni (in termini di criteri e finalità che le sottendono) e delle sistematizzazioni (in termini di limiti descrittivi), oltre che del rapporto con i modelli (definizione delle osservabili). Ad esempio, la distinzione tra legami intra- e inter-molecolari può essere utilizzata come criterio per discriminare i processi chimici e quelli fisici. Tuttavia, è necessario sapere che adottando altri criteri (ad es. il

criterio macroscopico della persistenza o meno della sostanza che subisce la trasformazione), l'esito della classificazione dei processi potrà essere diverso.

- Implicazioni del concetto di legame sul piano strutturale e su quello energetico: nel concetto di legame e di interazione intermolecolare coesistono questi due aspetti, che corrispondono a due prospettive distinte. La prospettiva strutturale è peculiare della chimica; la prospettiva energetica è condivisa con la fisica.
- Il concetto di legame è di natura relazionale: si tratta quindi di un concetto *intrinsecamente complesso* (nel senso tecnico e non generico del termine) che implica la necessità di tener conto del contesto nel quale si esplica e dell'influenza dell'intorno sulla relazione specifica che esso vuole esprimere. Inoltre, il riconoscimento della sua natura relazionale e complessa evidenzia l'incongruità della descrizione della molecola come mera 'somma' di componenti atomiche e la necessità di pensarla come *sistema integrato*. Le descrizioni modellistiche più recenti colgono questo aspetto, che invece è assente nei modelli precedenti. Infine, non meno importante, occorre *discutere la relazione tra il concetto di legame chimico e quello di molecola*, sottolineando che il primo non implica necessariamente il secondo, data l'esistenza di sostanze non molecolari.
- Va infine tenuto presente che *la definizione di legame cambia radicalmente a seconda del modello adottato*; ogni modello ha un suo campo di esistenza e dei limiti descrittivi. Ad es.: in Lewis il legame è una coppia condivisa di elettroni, ma ciò porta ad escludere sistemi come H_2^+ . In QM il legame è un effetto quantistico distribuito su tutta la molecola.

A completamento delle riflessioni di natura epistemologica, specifichiamo alcune prassi che ci pare opportuno adottare nello *sviluppare didatticamente* il concetto di legame.

- Aver cura di inquadrarlo in una *cornice di senso*, ossia individuare gli interrogativi problematici che impongono lo sviluppo di tale concetto e ne evidenziano la necessità.
- Individuare i *concetti propedeutici* ad una corretta comprensione delle diverse trattazioni modellistiche del concetto di legame chimico.
- Correlare sempre il piano macroscopico delle evidenze sperimentali e degli interrogativi problematici (ossia il referente empirico) con il piano microscopico della concettualizzazione e della descrizione/interpretazione modellistica. A que-

sto proposito, ci pare utile ribadire la non coincidenza dei termini macroscopico (che si riferisce a ciò che è esperibile con i sensi) e osservabile (che si riferisce a grandezze misurabili all'interno di un ben preciso quadro modellistico-teorico).

- Adottare un approccio storico-epistemologico, non inteso come narrazione storica, ma come costruzione di un percorso di apprendimento che individua i nodi concettuali che hanno segnato lo sviluppo del concetto di legame e li utilizza a scopo didattico. Ciò ha il vantaggio di evidenziare l'evoluzione storica dell'interpretazione del concetto di legame e quindi ha un valore metacognitivo, in quanto evidenzia un aspetto peculiare delle modalità di costruzione del sapere scientifico. Inoltre, questa modalità stimola negli studenti lo sviluppo di un approccio critico ai problemi.
- Tenere presente gli ostacoli cognitivi inerenti il concetto di legame e le relative modellizzazioni. La sequenza storica secondo la quale i modelli di legame si sono sviluppati riflette un processo di 'maturazione concettuale' che andrebbe tenuto presente e rispettato nell'insegnamento del legame stesso, evitando comunque di dare l'idea di una linearità, ossia di un "progresso" concettuale automatico nel passaggio da un modello al successivo. Una delle conseguenze di ciò è che il significato del modello quantistico di legame è pienamente comprensibile solo alla luce dei modelli precedenti i quali, sebbene "scientificamente superati" continuano a rivestire un ruolo didattico importante.
- Evitare antropomorfizzazioni e finalismi nella trattazione/descrizione del legame (ad es., l'atomo X *vuole* perdere un elettrone, all'atomo Y *non conviene* ibridarsi, ecc.). Scelte lessicali inopportune possono indurre concezioni difformi negli allievi.
- Evidenziare la natura analogica e metaforica del linguaggio e delle rappresentazioni iconografiche del concetto di legame.
- La modellizzazione del legame deve coniugare aspetti strutturali ed energetici; inoltre deve dare conto degli aspetti temporali e dinamici del legame stesso (che sono correlati sia con gli aspetti strutturali che con quelli energetici).
- Nella descrizione modellistica del legame occorre evidenziare sia gli aspetti relativi alla carica sia quelli relativi alla massa delle entità chimiche presenti nel sistema.
- Evidenziare gli *aspetti discriminanti* tra legami chimici e interazioni inter-molecolari (ad es., la direzionalità, la reversibilità, ecc.) ed *esaminarne*

le criticità. Ad es., il legame H è una interazione intermolecolare, ma è direzionale e quindi risulta multipla (per via del suo dinamismo) e singola al tempo stesso. Inoltre, è agente di processi chimici (es. reazioni di proton-transfer). Infine, può essere considerato sia di tipo inter- che intra-molecolare (ad es. nelle proteine).

- Data la natura fortemente interdisciplinare delle considerazioni relative al concetto di legame, occorre promuovere approcci integrati sul piano chimico e fisico, sia a livello universitario che scolastico. A scuola questa operazione è auspicabile sia nei primi anni (con un approccio classico al legame e lo studio dell'elettrostatica) sia negli anni terminali (quando il docente di Fisica affronta temi quantistici pertinenti ad argomenti precedentemente introdotti da docenti di scienze o di chimica). L'introduzione della quantistica a scuola comunque presenta criticità di tipo concettuale, didattico e temporale (sia in virtù dell'attuale organizzazione didattica sia a causa dei tempi ristretti e della sparizione - di fatto - della chimica-fisica come materia curriculare).

Piano della continuità didattica e concettuale tra scuola e università (requisiti)

Coordinatori: Eleonora Aquilini e Antonio Testoni
Componenti del gruppo: Gustavo Avitabile, Federica Branchini, Maria Costa, Maria Irene Donnoli, Giuseppina Ferrara, Dorastella Lombardi, Carmen Palermo
 Questo gruppo di discussione, composto in prevalenza da docenti della scuola, ha lavorato sulla tematica: *Requisiti, ossia individuazione dei contenuti e concetti che dovrebbero essere stati acquisiti nella scuola secondaria.*

È stata subito condivisa l'idea che, a livello di scuola secondaria, lo scopo ultimo dell'insegnamento delle materie scientifiche debba essere la promozione di una cultura scientifica indirizzata a formare cittadini consapevoli, in grado cioè di compiere scelte ponderate su vari fronti. Pertanto, l'obiettivo dell'insegnamento scolastico è quello di *formare* e non solo di *informare*: la differenza è sostanziale. A tal fine si sono sottolineati diversi aspetti che non devono essere trascurati nella didattica delle scienze e della chimica e che sono qui di seguito elencati.

- Caratteristica imprescindibile della didattica dovrebbe essere la *gradualità*, cioè il rispetto delle propedeuticità concettuali degli studenti. Ciò può implicare la decisione di trattare solo gli aspetti

fenomenologici di un argomento, se le condizioni per l'approfondimento a livello microscopico (modellistico) non sono ancora presenti (come è il caso del livello scolastico primario). A studenti in possesso di presupposti cognitivi atti alla costruzione di concetti via via più formali e complessi si potrà proporre una trasposizione didattica che, a partire da constatazioni macroscopiche, suscita negli studenti la ricerca di spiegazioni plausibili e ne sviluppa la capacità di elaborare spiegazioni a livello microscopico.

- In chimica, scendere al livello microscopico significa necessariamente il ricorso all'uso dei modelli. Si è dunque sottolineata la necessità che il docente chiarisca *a priori* cosa è un modello e quali siano le sue funzioni e limitazioni.
- Compito del docente è proporre dei modelli che siano intelligibili agli studenti in un dato contesto scolastico, anche se probabilmente gli stessi modelli sono superati dal punto di vista tecnico-scientifico. A questo proposito, il gruppo ha giudicato inopportuno proporre i modelli della meccanica quantistica nella scuola secondaria di secondo grado: questi, infatti, pur avendo un potere esplicativo maggiore rispetto ai modelli classici, non sono in sintonia con le strutture mentali degli studenti di quella fascia di età.
- Nella transizione dal mondo fenomenologico a quello modellistico, l'approccio all'apprendimento che il gruppo ha ritenuto più efficace è quello costruttivista, che pone lo studente al centro del processo di insegnamento-apprendimento e promuove la costruzione dei concetti da parte degli studenti stessi, non limitandosi ad una mera trasmissione della conoscenza.
- Le modalità didattiche atte a favorire questi scopi possono essere diverse. All'interno del gruppo sono emerse due alternative. Quella di costruire sequenze didattiche con precise caratteristiche, quali: attenzione alle propedeuticità concettuali e uso ricorsivo dei concetti, approccio circolare (dal livello macroscopico al microscopico e ritorno), impiego di fogli di lavoro e situazioni-problema. Oppure quella di seguire un approccio storico/epistemologico caratterizzato dal fatto di ritenere che nell'insegnamento/apprendimento di una disciplina scientifica, come la chimica, vanno considerate non solo le conoscenze/competenze disciplinari specifiche, ma anche la conoscenza dei processi e delle strategie utilizzate per la costruzione del sapere. Conoscenze e processi sono inscindibili, in quanto sono facce di una stessa medaglia, quella della conoscenza, del sapere, della cultura. Pertanto, non è possibile de-

contestualizzare il sapere, separandolo dalla sua origine e dalla rete di problematiche che l’hanno generato. Tutto ciò non significa sostituire l’insegnamento tradizionale delle scienze con la storia delle scienze, ma utilizzare momenti e aspetti della storia delle scienze e dell’epistemologia particolarmente adatti per collocare problemi, ipotesi e soluzioni nella appropriata cornice storico-concettuale. Si tratta di un’ottima opportunità didattica per far comprendere agli studenti il significato e i metodi della ricerca scientifica, elaborando un’idea di scienza corretta e realistica, secondo una modalità d’apprendimento profondamente formativa.

- I temi focali collegati al concetto di legame chimico, che ne costituiscono un requisito sono: la teoria atomica di Dalton (che pone proprio il problema dell’unione tra gli atomi), i modelli di struttura atomica ed il modello di Lewis. Quest’ultimo pur superato dai più sofisticati modelli della meccanica quantistica, continua ad avere una valenza esplicativa, predittiva e didattica molto importante, soprattutto in una situazione di primo approccio a tale problematica.

Altre raccomandazioni mirate a garantire un apprendimento significativo del concetto di legame chimico (e più in generale, un apprendimento efficace delle discipline scientifiche) sono:

- l’auspicio di una stretta collaborazione col docente di fisica, in quanto la fisica tratta diversi contenuti propedeutici all’apprendimento del legame chimico (ovviamente proposto impiegando modelli di legame fondanti su interazioni di tipo elettrostatico tra gli atomi);
- la necessità di una piena consapevolezza da parte dei docenti nell’utilizzo del linguaggio e della terminologia. Il linguaggio antropomorfo dovrebbe essere bandito dall’ambito educativo.

In una situazione di **primo approccio** al *legame chimico*, ci si è posti il problema se distinguere o meno tra legami intermolecolari e intramolecolari. La non distinzione tra i due tipi di legame può essere motivata dal proposito di evitare le diffuse dicotomie tra le due classi di legami e di sottolineare la continuità energetica e la comune base elettrostatica delle interazioni interatomiche. D’altra parte, la distinzione tra le due tipologie di interazione interatomica può essere motivata dal fatto che il legame fra gli atomi nella molecola è strettamente connesso al concetto di valenza e, conseguentemente, ad una prima idea di struttura molecolare. Si tratta quindi di prendere in considerazione prima i legami fra atomi della mo-

lecola e successivamente quelli fra atomi di molecole diverse.

In conclusione:

- è necessaria una maggiore e migliore formazione a livello universitario dei futuri insegnanti di scienze e di chimica, soprattutto riguardo gli aspetti storico-epistemologici delle discipline;
- è opportuno operare un uso critico dei libri di testo, i quali troppo sovente alimentano e diffondono concezioni alternative;
- è importante disporre di tempi e di spazi didattici che consentano di adeguare e migliorare le trasposizioni didattiche nella scuola secondaria secondo le linee guida fin qui ricordate.

Piano del sapere disciplinare

Coordinatori: Michele A. Floriano e Mariano Venanzi
Componenti del gruppo: Ugo Cosentino, Antonella Maggio, Silvia Prati, Davide M. Proserpio, Sergio Stoccoro

Questo gruppo - interamente formato da docenti universitari - aveva come obiettivo *la discussione dei problemi dell’insegnamento del legame chimico sul piano del sapere disciplinare*, ovvero l’individuazione degli aspetti specifici del concetto di legame da acquisire nell’arco dell’intero percorso universitario. Preliminarmente, è stata presa in esame la natura fisica dell’interazione tra atomi che porta alla formazione delle molecole. Sono stati individuati ed analizzati i diversi approcci alla trattazione del legame chimico e della struttura molecolare, ai quali corrispondono diversi modelli proposti per l’insegnamento di questi argomenti.

In particolare:

- approccio di Lewis alla formazione del legame chimico, che descrive il legame come condivisione di coppie di elettroni;
- teoria VSEPR, che consente di individuare la posizione reciproca degli atomi e la geometria delle molecole come conseguenza della minimizzazione delle repulsioni tra gli elettroni, massimizzando la distanza fra loro;
- teoria del legame di valenza e introduzione del concetto di orbitale ibrido, che permette l’ottimizzazione della struttura in termini di energia e distanze di legame;
- teoria degli Orbitali Molecolari.

L’approccio quantomeccanico è il più completo ed esaustivo per la descrizione del legame chimico, ma esso risulta troppo complesso - anche nel percorso formativo della Laurea in Chimica - per un corso in-

trodotto. L'argomento deve quindi essere introdotto facendo uso di modelli più semplici, per pervenire ad una descrizione iniziale dei legami all'interno di una molecola. Questi modelli saranno idonei agli studenti di qualunque corso di laurea.

Questa impostazione, che implica l'utilizzo di modelli anche molto diversi per la descrizione dello stesso fenomeno, rende necessaria una discussione preliminare circa l'uso di un approccio modellistico nell'interpretazione di fenomeni fisici.

La parte iniziale di un corso introduttivo di chimica generale, valido per tutti gli studenti, può seguire l'evoluzione storica dallo sviluppo dei modelli atomici dopo la scoperta degli elettroni, comprendendo anche il modello di Bohr-Sommerfeld. La descrizione dei modelli atomici dovrebbe includere il modello atomico di Lewis, sebbene probabilmente la sua idea di un "atomo cubico" potrebbe risultare non facilmente accettabile. A questo punto si potrebbe introdurre il modello di Lewis per descrivere il legame a coppie di elettroni e la teoria VSEPR per descrivere la geometria delle molecole.

La discussione sulla natura fisica e quantomeccanica del legame potrà essere trattata successivamente, nella seconda parte di un corso di chimica generale annuale o in un secondo corso. In questa parte più avanzata del corso, rispettando la gerarchia dei concetti in funzione di un criterio di complessità crescente, si potrà riprendere la trattazione della struttura atomica e della teoria del legame introducendo la natura ondulatoria della materia. Uno sviluppo progressivo alle conoscenze, attraverso un approccio ricorsivo ai contenuti, è uno strumento efficace per la comprensione. Lo stesso criterio e lo stesso metodo possono essere seguiti anche per la descrizione della tavola periodica, che seguirebbe il percorso di approfondimento della struttura atomica. La natura quantomeccanica del legame chimico verrà esaminata introducendo il modello Valence Bond (VB) e quello dell'orbitale molecolare (MO). La differenza tra questi due modelli rappresenta un nodo concettuale importante, del quale è necessario chiarire il significato fisico e gli aspetti modellistici. La Teoria del legame di valenza, affrontata con il corretto approfondimento, sembra essere in grado di superare i limiti del modello di Lewis ed è applicabile per descrivere le reazioni e la dinamica chimica. La teoria dell'orbitale molecolare sembra invece più adatta a descrivere molecole complesse caratterizzate da una estesa delocalizzazione della densità elettronica.

Entrambi i modelli dovrebbero essere introdotti dopo un corso (localizzato nel II semestre I anno, o nel I semestre II anno) di introduzione ai fondamenti

della Meccanica Quantistica, orientato in senso fortemente chimico, e che presenti coerentemente la struttura atomica, la configurazione elettronica e l'*aufbau* chimico, per passare poi alla discussione del legame chimico in termini VB e MO.

Per quanto riguarda le interazioni intermolecolari, ancora una volta, pur ritenendo l'approccio della meccanica quantistica più completo e in grado di spiegare un maggior numero di fenomeni, la trattazione classica (natura elettrostatica dell'interazione, dipoli istantanei, dipoli indotti, dipoli permanenti) risulta adeguata ad una fase iniziale. Nel descrivere la natura elettrostatica del legame fra le molecole è opportuno sottolineare la presenza sia di forze attrattive che di forze repulsive ed è necessario aver sempre chiaro che i sistemi sono dinamici, fluttuanti e che gli elettroni si influenzano reciprocamente. Nella descrizione del legame ad idrogeno, dovrebbe esserne sottolineata la natura dinamica.

Le teorie dei gas, ed in particolare il passaggio da gas ideale a gas reale, rappresentano un utile modello per presentare agli studenti l'importanza delle interazioni fra le molecole. Il modello dei gas ideali, nel quale le interazioni tra particelle sono trascurabili, deve evolvere in un modello più complesso, nel quale tali interazioni influenzano in maniera apprezzabile il comportamento del sistema. Questa costituisce un'ottima premessa concettuale per spiegare gli stati di aggregazione e i cambiamenti di stato. Inoltre, un valido esempio dell'importanza delle interazioni intermolecolari è il passaggio da soluzioni ideali a soluzioni reali.

In conclusione, l'uso di modelli semiclassici, sia nella descrizione dei legami intermolecolari che intramolecolari, è da preferire inizialmente per introdurre l'argomento, anche in continuità con ciò che viene svolto nel percorso delle scuole medie di secondo grado. Questo approccio appare sufficiente per l'insegnamento della Chimica in tutti i corsi di Laurea. Il percorso di Laurea in Chimica deve poi prevedere, a seguire e in tempi brevi, un corso più avanzato in cui vengano affrontati e sviluppati gli stessi argomenti con l'approccio quantomeccanico.

Piano didattico

Coordinatori: Anna Caronia e Margherita Venturi
Componenti del gruppo: Carla Carfagna, Fabrizia Fabrizi, Renato Lombardo, Angelo Natalucci, Diego Oliveri, Santa Scuto

Obiettivo di questo gruppo era la discussione delle *problematiche didattiche connesse all'insegnamento della teoria del legame chimico e delle interazioni fra le molecole*, cioè le problematiche connesse alla

sceita dell’approccio e dei modelli da utilizzare e sviluppare, dei livelli di approfondimento dei concetti e degli obiettivi da perseguire, nonché quelle relative alla valutazione delle conoscenze pregresse e delle conoscenze acquisite. Il gruppo era formato principalmente da docenti universitari, cosa che inevitabilmente ha portato a privilegiare la discussione a questo livello di formazione.

Molte delle considerazioni sorte all’interno di questo gruppo sono comuni a quelle emerse negli altri gruppi, come inevitabilmente si poteva aspettare. Quindi di seguito vengono riportate le riflessioni che hanno caratterizzato nello specifico questo gruppo.

Considerazioni generali

- *Valutazione dei concetti base*: stabilire, all’inizio del percorso, se esistono misconcezioni (orbita, orbitali, ibridizzazione, promozione elettronica, molecola, ...) e quanto sono invece consolidati i concetti di base necessari per lo studio del legame chimico e delle interazioni intermolecolari.
- *Concretezza*: evitare la trattazione di soli concetti astratti e partire, quanto e quando possibile, dalla trattazione di fenomeni vicini alla realtà.
- *Trasversalità del legame chimico*: sottolineare, dandone prova con esempi, che il concetto di legame non è specifico della Chimica Generale, ma è trasversale e fondante per tutta la Chimica e che non si identifica con “la molecola” visto che esistono legami anche quando non esiste la molecola.
- *Energia*: approfondire gli aspetti energetici nella formazione del legame. La materia è infatti caratterizzata da un equilibrio fra forze repulsive e forze attrattive.
- *Concisione*: evitare lezioni troppo ricche di nozioni che potrebbero generare nello studente ansia e difficoltà nella gestione/comprendimento dei vari concetti.
- *Contestualizzazione storica dell’argomento*: affrontare l’argomento in progressione introducendo anche gli aspetti storico-epistemologici avendo cura di non ridurli a semplici narrazioni, ma a momenti di profonda riflessione sull’importanza della ricerca scientifica e del progresso nel mondo delle scienze. A volte, la narrazione storica aiuta a catturare l’interesse dei ragazzi e a contestualizzare i fenomeni. Considerazioni di tipo storico aiutano, infatti, ad individuare temporalmente una scoperta e ad “umanizzare” la scienza, rendendola più vicina e più accessibile. Il tempo da dedicare agli aspetti “storici” deve essere congruo in corsi non incentrati sulla Storia della Chimica; in particolare per le scuole superiori si è ri-

portato l’utilità che ricoprono le uscite didattiche in musei di chimica o scientifici in generale.

- *Descrizione di una molecola usata come esempio*: al termine della trattazione del concetto di legame e delle interazioni intermolecolari, è utile proporre una lezione riassuntiva, nella quale le diverse teorie e modelli che sono stati oggetto di apprendimento vengono applicate ad una particolare specie chimica (per es. l’acqua), analizzandone le proprietà nell’ottica dei concetti studiati.
- *Precisione nella terminologia*: curare la precisione terminologica, l’accuratezza descrittiva, la logicità e la consequenzialità per evitare fraintendimenti e l’insorgere di misconcezioni (ad esempio, il termine geometria dell’ibrido è sicuramente diverso quello di geometria della molecola e, quindi, i due termini vanno usati appropriatamente).
- *Dicotomia intra/intermolecolare*: sottolineare, in stretta relazione al punto precedente, la distinzione semantica tra forze intra- e inter-molecolari (dicotomia tra intra e inter). In particolare, si è evidenziato che occorre usare il termine legame per dare senso alla molecola e la molecola per differenziare i tipi di legame; la parola legame va pertanto riservata al modo con cui gli atomi raggiungono la loro stabilizzazione energetica. Per definire le forze di attrazione fra le molecole è, invece, preferibile usare il termine interazione intermolecolare. Questa differenziazione terminologica è giustificata dal fatto che le interazioni intermolecolari rappresentano una stabilizzazione energetica “aggiuntiva” (le molecole esistono indipendentemente) che in genere si verifica allo stato liquido e solido, mentre il legame è prioritario per gli atomi (che nella maggioranza dei casi non esistono separati) ed è presente indipendentemente dallo stato di aggregazione. Un tipo particolare di interazione intermolecolare è il legame a ponte di idrogeno; il termine “legame” per questa interazione è giustificato per due ben precisi motivi:
 - 1 ha un’energia (0,1–0,3 eV) maggiore di quella delle normali interazioni dipolo-dipolo;
 - 2 presenta una certa direzionalità, caratteristica più dei legami covalenti che delle forze elettrostatiche.
 Si tratta, comunque, sempre di una interazione e non di un legame e proprio per questa ragione è così estesamente presente nei sistemi supramolecolari naturali preposti alle funzioni vitali.
- *Attività pratiche*: coinvolgere gli studenti in attività laboratoriali, per rendere “visibili” le teorie e i concetti; si potrebbe addirittura partire da

semplici attività pratiche per comprendere i concetti collegati alle interazioni intermolecolari e la struttura della materia per arrivare, successivamente, alla teoria (ad es. la cromatografia su lastrina, o il comportamento di liquidi di natura diversa rispetto ad una bacchetta di vetro caricata elettrostaticamente).

Ulteriori considerazioni

- *Insegnamento annuale della Chimica Generale*: a livello universitario sarebbe auspicabile che l'insegnamento della Chimica Generale fosse annuale al fine di una adeguata e migliore trasposizione didattica, nonché dell'opportunità di un apprendimento graduale, significativo e permanente. Questa proposta è giustificata dal fatto che il corso di Chimica Generale è unico e non diviso in due o più corsi di complessità crescente come, invece, accade per altri insegnamenti (Chimica Fisica, Chimica Organica, Fisica, ...).
- *Libri di testo*: è stata sottolineata la mancanza di un valido testo di riferimento sia a livello universitario che per la scuola secondaria per affrontare l'argomento in oggetto. Ad esempio, tutti i testi in commercio non riportano una costruzione del concetto di legame chimico che rispetti i criteri storico-epistemologici e didattici emersi non solo durante la preparazione dell'edizione 2020 della Scuola, ma anche durante i lavori di gruppo svolti durante la Scuola stessa.
- *Mappe concettuali*: in accordo con quanto osservato al punto precedente, è stato indicato essere fondamentale fornire agli studenti altri strumenti da utilizzare durante lo studio autonomo, come mappe concettuali e/o appunti elaborati dal docente.
- *Favorire la trasversalità delle materie*: un ultimo aspetto riguarda la difficoltà da parte dello studente di applicare competenze acquisite in un ambito specifico ad altri ambiti: ad esempio, $1/r^6$ ha un proprio significato in matematica e corrisponde ad una funzione, ma poi, quando si passa alla chimica, la stessa relazione perde totalmente di significato. L'esperienza diretta di molti docenti del gruppo ha evidenziato che spesso lo studente lega i concetti alle materie, o peggio, ai docenti.

Conclusioni

La lettura delle considerazioni emerse all'interno dei gruppi evidenzia la complessità del tema trattato, che si traduce in uno spettro di posizioni possibili. I gruppi hanno mostrato una notevole convergenza rispetto a temi relativi alle pratiche didattiche e ai

nodi concettuali. Posizioni più variegata si registrano sulle questioni più specificamente epistemologiche che, per la loro stessa natura filosofica, si prestano ad una maggiore ampiezza di interpretazioni.

Scopo dell'edizione 2020 della Scuola era affrontare il tema della trasposizione didattica dei concetti di legame chimico e di interazioni intermolecolari in una prospettiva di continuità e di congruità tra insegnamento scolastico ed universitario. I due livelli si distinguono per obiettivi formativi e livello di approfondimento. Non tutti gli studenti che frequentano le aule scolastiche continueranno il loro percorso in quelle universitarie. E non tutti coloro che frequenteranno l'università si dedicheranno a discipline scientifiche. E dunque ci si può chiedere: a cosa servirà a tutti costoro il concetto di legame chimico (o, allargando la prospettiva, lo studio delle scienze)? Una risposta molto chiara ci viene da uno dei gruppi di discussione: scopo ultimo dell'insegnamento delle materie scientifiche è *la promozione di una cultura scientifica indirizzata a formare cittadini consapevoli*, in grado cioè di compiere scelte ponderate. Questa affermazione evidenzia il valore formativo delle scienze, tanto più elevato se si pratica una didattica capace di insistere sui processi di pensiero e sugli aspetti processuali della scienza. E per essere in grado di fare ciò, i docenti (a qualsiasi livello formativo) devono avere consapevolezza dei fondamenti storico-epistemologici della propria disciplina. Si definisce così la cornice teorico-didattica entro la quale inquadrare le considerazioni elaborate nel corso della Scuola in merito al tema del legame in chimica, dalla scuola all'università. Tali conclusioni si possono riassumere come segue.

Considerazioni generali per l'insegnamento delle Scienze

- Introdurre gli allievi alla natura dei modelli, chiarendone il rapporto con la realtà materiale, è premessa necessaria a qualsiasi discorso scientifico
- Improntare il proprio insegnamento alla gradualità e alla ricorsività, proponendo modelli interpretativi adeguati al livello di maturità cognitiva degli allievi
- Vigilare sul lessico, che è un potente veicolo di concezioni difformi
- Correlare il piano delle evidenze sperimentali e quello teorico (modellistico-interpretativo), evidenziando il rapporto circolare che li lega (le evidenze empiriche necessitano di interpretazione teorica, la quale è validata dal riscontro sperimentale).
- Contestualizzare i saperi adottando un approccio storico-epistemologico, che consente di eviden-

ziare ed affrontare i nodi concettuali di uno specifico argomento e stimola l’attitudine critica degli allievi.

Considerazioni specifiche per l’insegnamento del legame chimico

- Requisiti necessari per affrontare il concetto di legame: teoria atomica di Dalton, modelli di struttura atomica fino a Lewis e Bohr-Sommerfeld.
- Tenere presente che la definizione di legame è strettamente dipendente dal modello interpretativo che si adotta.
- Evidenziare il rapporto tra concetto di legame e concetti correlati (es. valenza, struttura molecolare).
- Discutere il concetto di legame chimico sia sul piano strutturale che energetico. Sottolineare l’aspetto dinamico del legame, comune agli aspetti strutturali ed energetici, con le relative implicazioni (stabilità, reversibilità, ecc.).
- Discutere ed analizzare la distinzione tra interazioni intra- e inter-molecolari, chiarendone il peculiare significato chimico e sottolineando ciò che le accomuna (aspetti energetici) e ciò che le differenzia (aspetti strutturali).
- Ove possibile, improntare l’insegnamento del legame chimico su una base collaborativa tra gli insegnamenti della chimica, della fisica e della matematica (favorire la trasversalità degli insegnamenti).
- Discutere il significato del legame chimico anche in ambiti disciplinari extra-chimici, per evidenziarne il potenziale conoscitivo ed esplicativo.
- Riconoscere i caratteri peculiari dell’approccio classico al legame vs. quelli tipici di un approccio quantistico (elettrone descritto come particella o come onda, interazione di legame interpretata in termini elettrostatici o ondulatori, ecc.).
- Trattare il concetto di legame secondo un percorso congruo sul piano cognitivo e coerente sul piano storico-epistemologico, nel segno della continuità tra scuola e università, come riassunto nello schema sotto riportato.

<p>Scuola e prima parte di un corso universitario di chimica generale annuale per chimici o corso universitario di chimica generale per altre discipline</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Approccio di Lewis alla formazione del legame chimico, che descrive il legame come condivisione di coppie di elettroni. – Teoria VSEPR, che consente di individuare la posizione reciproca degli atomi e la geometria delle molecole come conseguenza della minimizzazione delle repulsioni tra gli elettroni, massimizzando la distanza fra loro.
<p>Seconda parte di un corso di chimica generale annuale per chimici o ulteriore corso dedicato</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Teoria del legame di valenza e introduzione del concetto di orbitale ibrido, che permette l’ottimizzazione della struttura in termini di energia e distanze di legame. – Teoria degli Orbitali Molecolari.