

ELEMENTI DI DIDATTICA DELLE NEUROSCIENZE PER ATTIVITÀ BIOENGLISH NEL LICEO SCIENTIFICO

di Marina Minoli* e Michele Mazzanti**

Di fronte ai «programmi» scolastici e quando si tratta di rendere operative alcune norme ministeriali - in questo caso l'uso della seconda lingua nella didattica della biologia - si può procedere in termini strettamente formali, oppure mettere in atto un'impostazione e accorgimenti che mantengano al proprio insegnamento la capacità di promuovere l'uso della ragione e permettano agli studenti di comprendere ciò che studiano.

Nelle classi quinte e terze del liceo scientifico, l'autore ha attuato percorsi relativi alle neuroscienze ideando integrazioni e approfondimenti in lingua inglese.

* *Insegnante di Biologia e Chimica presso il Liceo Scientifico "Marconi" di Chiavari*

** *Ordinario di Fisiologia presso il Dipartimento di Bioscienze dell'Università degli Studi di Milano*

Attività *bioenglish* per classi quinte liceo scientifico e non solo. Quali contenuti, quali fonti scientifiche e attività didattiche per costruire dinamici percorsi di apprendimento? Sono alcune delle domande che si pone il docente di biologia coinvolto nella progettazione di attività didattiche su argomenti biologici in lingua inglese: un progetto che, per le classi terze, è stato di tipo «iniziale», mentre per le classi quinte si è sviluppato nell'ambito del CLIL (*Content and Language Integrated Learning*) ed è stato inserito nel «documento del 15 maggio» che accompagna i miei studenti all'Esame di Stato.

Ho scelto di strutturare percorsi didattici nei quali la lingua inglese possa permettere di veicolare contenuti scientifici integrati, anche in raccordo con programmazioni di biologia del precedente percorso di studi.

L'operazione ha inteso promuovere curiosità intellettuali e operative con ragionata innovazione formativa, non prioritari tecnicismi linguistici, ma approcci didattici coinvolgenti in cui l'uso della lingua inglese non sia percepito dagli studenti come forzatura o semplicemente obbligo formativo.

Una «immersione *bioenglish*» di questo tipo, che è anche di aggiornamento per il docente, ha previsto significative testimonianze di utilizzo dell'inglese nella comunicazione scientifica: la partecipazione (adeguatamente preparata) a seminari tenuti da un neurofisiologo ha costituito un momento di confronto operativo con il mondo della ricerca nel quale la lingua inglese è strumento veicolante relazioni e comunicazioni.

I punti significativi

Collaborando fin dall'inizio con il neurofisiologo che avrebbe tenuto seminari di aggiornamento in lingua inglese, abbiamo scelto una tematica a elevata valenza formativa, la morfologia, la biochimica e la fisiologia del neurone, per introdurre alcuni elementi di biomedicina del sistema nervoso. In questa proposta didattica si integrano l'approccio biochimico e quello fisiologico, aspetto formativo fondamentale per dimostrare la necessaria pluridisciplinarietà chimica-fisica-biologia per un moderno



studio del vivente, cercando di educare alla comprensione della complessità del reale.

Ho ritenuto inoltre importante promuovere ricerche informatiche per studiare alcuni aspetti delle malattie neurodegenerative, anche allo scopo di riflettere, con gli studenti delle classi quinte, sulla modalità con cui, nel mondo della ricerca scientifica, avviene la condivisione e il confronto dei dati sperimentali tra ricercatori. In questa attività gli studenti possono essere educati a un apprendimento «integrato», cioè non unicamente disciplinare, ma rispettoso della complessità dei contenuti scientifici, individuando concetti chiave trasversali.

È stato piuttosto difficile motivare gli studenti di quinta liceo ad affrontare la novità di un percorso *bioenglish* anche per le incertezze dovute alla scarsa conoscenza di uno specifico linguaggio scientifico relativo alla biologia cellulare. Da questo riscontro è nata l'idea di iniziare a proporre alle classi terze, nell'ambito dei programmi di anatomia e fisiologia del corpo umano, un approccio ai contenuti di base delle neuroscienze, adottando differenti strategie didattiche e guidando gli studenti anche alla comprensione dei seminari tenuti dal neurofisiologo in lingua inglese.

Va notato che questi seminari sono stati progettati e modulati prima della presentazione agli studenti, nella convinzione che solo una condivisione di intenti possa condurre a risultati positivi. Infatti, il lavoro è stato molto coinvolgente, ma ha richiesto un intenso lavoro in classe sia nella fase di preparazione - per esempio la presentazione degli argomenti chiave in lingua italiana (importanza della lingua madre per la comprensione) e in parte in lingua inglese, sia nella successiva fase di rielaborazione insieme agli studenti soprattutto di quinta.

Dal concetto di energia un approccio pluridisciplinare al vivente

La tematica dell'energia ha un ruolo centrale nella didattica delle scienze e si rivela efficace per attuare uno studio del vivente di tipo pluridisciplinare: un approccio formativo e di raccordo tra discipline diverse.

A una mia iniziale presentazione della relazione tra energia e vita (in lingua italiana) è seguito uno specifico approfondimento (in lingua inglese) nell'ambito dei seminari universitari tenuti da un neuroscienziato.

Ne diamo conto di seguito, in relazione ai concetti chiave che abbiamo sviluppato, riportando le formulazioni dello stesso concetto nelle due lingue (dove questo è stato possibile) e, soprattutto, mostrando l'iconografia di riferimento, in cui le didascalie sono in inglese.

Equilibrio dinamico e tempo

Vi sono due concetti fondamentali che gli studenti dovrebbero avere come base per comprendere come gli organismi sono in grado di accumulare e utilizzare energia. Il primo riguarda la coesistenza di due ambienti acquosi a diverse concentrazioni di soluti ma in comunicazione tra loro grazie a un setto di separazione selettivamente permeabile e quindi il concetto di equilibrio dinamico. In secondo luogo è fondamentale che gli studenti abbiano chiaro il concetto di tempo e cosa questo significhi in biologia. Nei meccanismi cellulo-molecolari non è solo importante il «quanto» o il «dove» ma anche e soprattutto il «quando».

Una qualsiasi forma di vita, se pur primordiale, per svolgere qualsiasi funzione necessita di energia. I tempi di immagazzinamento e di utilizzo dell'energia sono diversi tra loro. L'accumulo di energia potenziale è un processo attivo, cioè necessita di energia chimica per avvenire. Il processo è lento ma continuo.

Al contrario, l'utilizzo dell'energia potenziale è un meccanismo passivo, transiente, che avviene semplicemente rimuovendo i vincoli che impediscono al sistema di andare all'equilibrio statico. Si assiste quindi a un momentaneo disequilibrio del sistema biologico durante il quale l'energia potenziale viene trasformata in diverse altre forme di energia e eventualmente in lavoro meccanico.

La situazione di disequilibrio deve necessariamente essere transiente. Se infatti il sistema raggiungesse l'equilibrio statico si avrebbe l'esaurimento delle capacità funzionali e quindi la morte dell'organismo.

L'efficienza dei sistemi biologici è quella, dopo aver momentaneamente ceduto l'energia accumulata, di avere la capacità di ristabilire le condizioni iniziali ad alto contenuto di energia potenziale con il minor utilizzo di energia metabolica.



Energy accumulation is the first step to generate a dynamic biological system

A system which is able to accumulate and maintain potential energy is in a dynamic equilibrium. In biology life is always associated with dynamic conditions, while steady state conditions mean a stable equilibrium that in biological system is present only in dead organisms.

How can cells accumulate potential energy once obtained two separate environments? A cell stores potential energy thanks to a different distribution of charges between the two sides of the membrane.

Charges are provided by potassium, sodium and chloride ions.

Energia chimica - energia elettrica

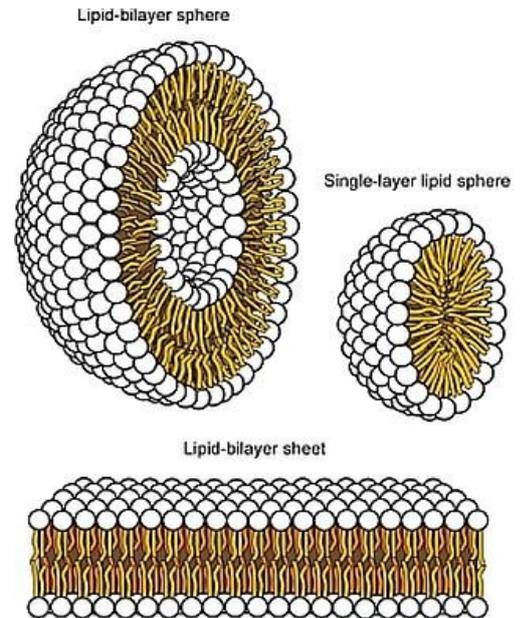
Quali sono le forme di energia più utili per gli organismi viventi? Anche qui occorre operare una distinzione basata sui tempi di attuazione. Sicuramente l'energia chimica ha un ruolo nel mantenere il sistema ad alto contenuto di energia potenziale. L'energia potenziale è quella più veloce da utilizzare operando una sua trasformazione in altri tipi di energia tra cui la cinetica, la termica e l'energia elettrica.

Di fatto tutte queste forme di energia sono dovute alla trasformazione delle une nelle altre. Ciò che le rende più utili nei diversi compiti è la velocità di esecuzione di una certa funzione. E in questo quadro la componente elettrica ha il sopravvento rispetto a tutte le altre in termini di velocità. Infatti, mentre la diffusione che comanda il cambiamento di concentrazione dei soluti dipende dagli attriti di una molecola che si muove in un liquido, la corrente ionica viaggia quasi alla velocità della luce.

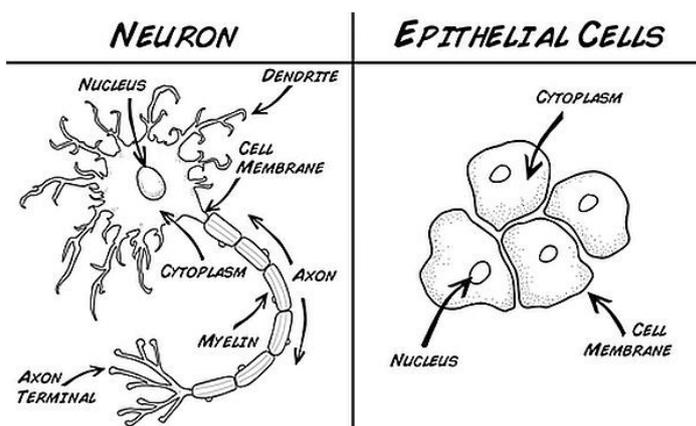
La cellula neuronale, in termini energetici, è la più evoluta del nostro corpo, concentra in un piccolo spazio una quantità elevata di energia potenziale in grado di generare un campo elettrico di 10 MV/m a cavallo della membrana. Qual è la principale funzione di un neurone, cellula finalizzata a ricevere uno stimolo? Sicuramente comunicare, in relazione allo stimolo ricevuto, convertendo energia potenziale elettrica in energia chimica o meccanica. Possiamo dunque considerare la sinapsi come la chiave del processo di comunicazione tra neuroni. Ogni neurone può rispondere a uno stimolo perché ha molta energia potenziale. Tutte le cellule rispondono nello stesso modo a uno stimolo?

What's different between excitable cells and not excitable cells?

Una cellula eccitabile (*neuron*) si distingue da una non eccitabile (*epithelial cell*) per la struttura e per la differenza di energia dovuta al potenziale di membrana. La reazione di una cellula eccitabile è diversa; maggiore è l'energia potenziale maggiore è l'eccitabilità della cellula. In una cellula epiteliale finalizzata a proteggere e rivestire gli organi, per esempio, la differenza di potenziale a cavallo della membrana cellulare è di circa -40 mV, mentre in una cellula neuronale è pari a -70 mV.



In biology life is possible only when a system is able to accumulate energy. Biological membrane can accumulate potential energy and, following an adequate stimulus, release it in different forms



Relation between function and structure. Usually neuronal cell (left panel) is small (10 -15 microns in diameter) and functionally polarized. The cell body, containing the nucleus, receives the excitation waves from the dendritic tree and, eventually, sends the excitatory signal to the axon terminal. The epithelial cell (right), on the contrary, is big (20-60 microns in diameter), often is polarized, showing an apical and a basal membrane. It is more compact with tight contacts with other cells, forming a selective barrier

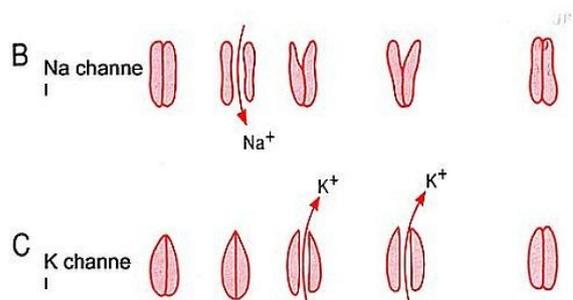
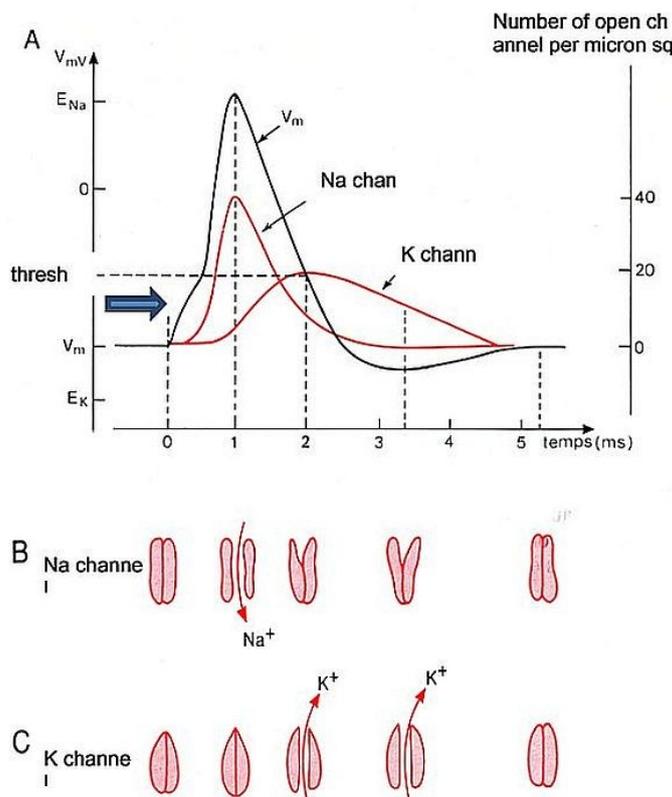
Dove ha origine l'eccitabilità del neurone

Occorre ora riflettere insieme agli studenti sul fatto che l'energia è in relazione a una differente possibilità di movimento degli ioni attraverso la membrana (permeabilità ionica).

La distribuzione degli ioni è infatti uguale per tutte le cellule: all'esterno ci sono 140 millimoli di sodio e 5 millimoli di potassio, all'interno vi è la situazione opposta, con 10 millimoli di sodio e 140 millimoli di potassio. La differenza è nella permeabilità della membrana.

Nelle cellule neuronali la permeabilità agli ioni è molto bassa quando la cellula è a riposo e principalmente dovuta allo ione potassio. Lo stimolo è in grado di modificare questa permeabilità rendendola transientemente elevata.

Questo avviene grazie alle proteine-canale che sono sensibili alle variazioni repentine del potenziale di membrana. In seguito allo stimolo, i canali ionici attivati consentono un passaggio di corrente ionica che modifica a sua volta il potenziale della membrana in un meccanismo che si autoalimenta dando origine al potenziale d'azione che è l'unità funzionale dell'eccitabilità nervosa.



Sequence of events promoting neuronal cell excitability. The stimulus cause the first depolarization (arrow) reaches the ionic channel. Both sodium and potassium channels are activated by the change in voltage (top right). The difference is that sodium channel have a fast kinetics and promote a depolarization of the membrane from -70 mV up to 35-40 mV. The potassium conductance (bottom left) are slower and after the closure of the sodium permeabilities, are able to repolarize the cell membrane. The whole transient excitation wave last 1-2 milliseconds.

La struttura dell'attività svolta

Le fasi formative che ho attuato e che ho brevemente presentato non vanno intese come somma di attività, ma come un programma di apprendimento critico nel quale le singole proposte, per esempio in madre lingua e in inglese, sono strettamente vincolate tra loro.

Inoltre, il confronto con il mondo della ricerca scientifica è stato utile anche per fare comprendere agli studenti la relazione tra la fisica e la biologia, contenuti di biofisica che si integrano molto bene con le programmazioni di quinta liceo in merito agli studi relativi alla corrente elettrica.

Membrane biophysics

Gli studenti dovrebbero essere indirizzati da docenti di matematica e di fisica alle problematiche che sono strettamente inerenti il campo della dinamica delle popolazioni. Pur mantenendo un comportamento casuale, il rapporto struttura/funzione comporta una diminuzione dei gradi di libertà del sistema biologico che consente lo svolgimento di un lavoro coordinato.

Nello studio della dinamica di popolazione un ruolo importante ha la precisa comprensione della differenza tra segnali analogici e digitali e la loro interpretazione.

Nel quadro della biofisica delle membrane di rilevante importanza è la legge di Ohm e di conseguenza lo studio delle caratteristiche di differenze di potenziali, resistenze e correnti ioniche. Un capitolo a parte deve essere aperto per quanto riguarda lo studio delle caratteristiche del condensatore.

La proprietà delle membrane biologiche di funzionare come condensatori è un fattore fondamentale nel funzionamento dell'eccitabilità neuronale. Il condensatore di membrana è l'unica struttura biologica in grado di separare le cariche elettriche in soluzione mantenendo il principio di elettroneutralità delle soluzioni.

Mondo della scuola e mondo della ricerca

Per quanto riguarda le neuroscienze, il confronto con il mondo della ricerca è fondamentale per rendere i giovani consapevoli delle parzialità di molte attuali conoscenze, di alcune difficoltà di progettazione di efficaci esperimenti, dell'impossibilità di dare risposte per ora certe a molte domande. Ed è utile per superare diffuse «misconoscenze» che derivano spesso da una separazione operativa tra il mondo del fare scienza e il mondo della didattica nella scuola.

Linguaggi e concetti che docenti e scienziati dovrebbero potere condividere in una «alleanza educativa» finalizzata a un'efficace formazione scientifica di base. Per riaffermare con forza la convinzione che la passione per la ricerca didattica si esprime anche con l'interazione fattiva, ricercata anche in modo pionieristico dal docente di discipline sperimentali, tra mondo della scuola e mondo della ricerca scientifica universitaria.

Come progettare

Ho iniziato dalla presentazione (classe terza) o rivisitazione (classe quinta) di concetti base delle neuroscienze per comprendere le complesse interazioni tra neuroni.

Le lezioni frontali rappresentano solo parte di questi percorsi nell'ambito dei quali ho adottato differenti strategie comunicative anche per promuovere una partecipazione consapevole alle attività proposte.

In terza liceo ho cominciato dal lavoro didattico sui termini di un *Bioenglish glossary for neuroscience* per arrivare sino alla progettazione di *Poster of science communication*. In pratica ho attivato azioni di *learning by doing*, motivando gli studenti alla rappresentazione grafica e relativa denominazione in lingua inglese dei principali organelli del neurone, delle strutture della membrana cellulare, delle parti caratterizzanti la cellula neuronale. Significativa è stata anche la stesura del testo descrittivo del grafico della variazione della propagazione del potenziale di azione con denominazione in inglese delle differenti fasi.

Il lavoro attorno all'immagine (che spesso si tende a sottovalutare) è risultato uno stimolo fondamentale per coinvolgere tutti gli studenti nel percorso, promuovere in tutti attiva partecipazione rimuovendo atteggiamenti passivi.

In termini sintetici, ho guidato a ragionare sui contenuti fondamentali e a imparare in modo spontaneo termini scientifici e concetti chiave in lingua inglese svolgendo pratiche attività di rielaborazione.

Letture di testi scientifici in lingua inglese

Ho coinvolto attivamente gli studenti anche in percorsi di lettura, differenziati per classi terze e quinte per avviare alla conoscenza e al corretto utilizzo del linguaggio scientifico in lingua inglese per elaborazioni orali e scritte

Occorre proporre tali percorsi in modo graduale: dalla consultazione di siti scientifici internazionali di neuroscienze e testi a elevata efficacia comunicativa fino alla lettura di articoli più complessi relativi a specifiche ricerche scientifiche. Alcune fonti, utili nella fase iniziale, propongono numerose attività per gli studenti.

Per esempio, il sito statunitense www.brainfacts.org – *Explore your Brain and Mind della Society of Neuroscience* di Washington, è suddiviso in specifiche sezioni (*About Neuroscience, Brain Basics, Sensing, Thinking and Behaving, Diseases and disorders,*

in Society) contenenti ciascuna sottosezioni molto ricche di brevi articoli scientifici tra i quali potere scegliere materiali adatti per costruire in modo flessibile un percorso per studenti liceali partendo dalla domanda *What is neuroscience?*

Il ricco dossier di Richard Morris e Marianne Fillenz della *British Neuroscience Association* (BNA) *Neuroscience: the science of the brain* del 2005 è strutturato in differenti sezioni caratterizzate da testi scientificamente rigorosi, ma scritti con stile divulgativo e quindi adatto a studenti liceali.

Il sito www.dana.org - *Dana Foundation* di New York, è caratterizzato da aggiornamenti di autorevoli riviste scientifiche internazionali e dalla pubblicazione del mensile online *Cerebrum*, contenente interessanti approfondimenti soprattutto per classi quinte.

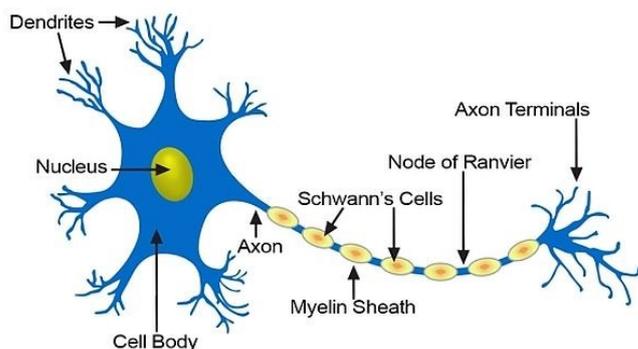
Proposte dinamiche e flessibili che non dovrebbero rappresentare rigide procedure da riprodurre e copiare in altri contesti, ma spunti operativi affinché il docente possa ideare con sensibilità didattica percorsi di lettura adeguati alla classe con cui lavora.

Alcuni esempi

Classi terze

Per superare diffuse incertezze degli studenti ad affrontare la lettura ho iniziato, in tempo predefinito, da due semplici articoli, uno della sezione *Neuroanatomy* del sito www.brainfacts.org: *The neuron*, breve testo sulla struttura del neurone caratterizzato dalla presenza di parole chiave evidenziate e collegate alla spiegazione sintetica, l'altro nella sezione *Cell communication*, *Neuron conversation: how brain cells communicate*.

Structure of a Typical Neuron



In seguito, suddivisi in piccoli gruppi e aiutandosi l'un l'altro, gli studenti hanno letto altri articoli sulla comunicazione tra neuroni. La prima richiesta è stata di individuare parole bioenglish chiave esprimendo per ciascuna una sintetica didascalìa.

Poi ho formulato domande scritte sui concetti chiave di ogni articolo, chiedendo di scrivere per ciascuna di queste una breve risposta. Nella fase finale il lavoro è stato condiviso proponendo verbalmente ai componenti degli altri gruppetti le differenti domande con richiesta per ciascuna di una sintetica risposta verbale.

Dalla sinapsi elettrica e chimica, alla lezione sui neurotrasmettitori. «Racconta un neurotrasmettitore» è l'attività assegnata a tutti gli studenti che scelgono liberamente, guidati dal docente, una molecola da studiare (acetilcolina, noradrenalina, glutammato, serotonina, dopamina, endorfine, GABA, glicina) attraverso brevi letture *bioenglish*.

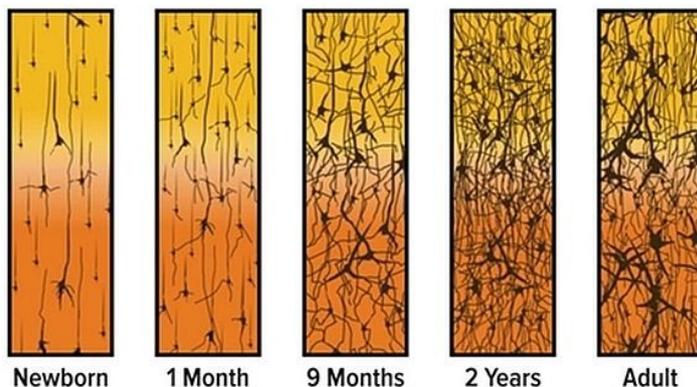
Un'altra attività che ha avuto esiti interessanti è stata l'elaborazione di poster scientifici relativi ai differenti approfondimenti da presentare verbalmente alla classe, simulando una piccola comunità scientifica.

Classi quinte

Nell'ambito delle lezioni di biochimica relative alle proteine ho presentato le proteine di membrana coinvolte nella comunicazione neuronale, in particolare proteine canale e pompe sodio-potassio.

Per spiegare i concetti di plasticità sinaptica e connettività neuronale, concetti chiave nelle neuroscienze, ho fatto riferimento ai recettori ionotropici per il glutammato (NMDA e AMPA) implicati nell'elaborazione della memoria a lungo termine.

Il percorso didattico *bioenglish* è stato indirizzato a identificare le caratteristiche fisiologiche e biochimiche del LTP (*Long term potentiation* - potenziamento a lungo termine) utilizzando come supporto alla comprensione filmati selezionati dal sito www.brainfacts.org. I concetti chiave di *plasticity* e *connectivity* sono stati sviluppati soprattutto nell'incontro con il neuroscienziato.



Neonatal brain has few connections.

Synaptic organization in the following months after birth occurs depending on experience.

This is known as a «synaptic plasticity»

Bioinformatica per lo studio delle neuroscienze

Lo studio delle tematiche che abbiamo sviluppato, nelle quali si integrano studi di fisiologia, biochimica e genetica (epigenetica), è stato supportato efficacemente da un approccio bioinformatico proposto come strumento operativo con un duplice obiettivo formativo.

Infatti, da una parte ho invitato gli studenti a diventare protagonisti nella consultazione di una banca dati internazionale, dall'altra ho guidato gli studenti nell'attuare analisi, riflessioni, confronti e nell'integrare informazioni relative a geni e proteine ricavate da diverse fonti.

Nella classe quinta gli studenti hanno utilizzato la banca dati secondaria OMIM (*Online Mendelian Inheritance in Man* www.omim.org), ideando per piccoli gruppi differenti percorsi di studio in relazione a specifici aspetti della malattia neurodegenerativa Alzheimer; un surfing bioinformatico condotto con responsabilità individuale tra dati e informazioni, fonti di consultazione per costruire diverse brevi ricerche.

Particolarmente motivante, nella fase conclusiva, una delle modalità di verifica attuata con l'organizzazione di brevi seminari, tenuti dagli studenti in lingua inglese, attorno a un tema generale: *Differenti aspetti della comunicazione neuronale e della malattia Alzheimer (AD)* integrando quanto emerso dalle differenti attività svolte.

I giovani relatori dovevano rispettare i tempi fissati e utilizzare la loro comunicazione per potenziare le capacità argomentative ed effettuare analisi critiche di quanto appreso nel confronto reciproco.

Come prepararsi al seminario scientifico in lingua inglese

Per partecipare con frutto al seminario scientifico in lingua inglese vissuto nel contesto scolastico e renderlo un momento didattico altamente formativo, cioè un'opportunità di confronto con il mondo della ricerca scientifica, è opportuno avere ben chiaro il percorso didattico da seguire.

Diffuse sono infatti le distrazioni degli studenti in occasioni di incontri con relatori esterni se non concepiti in un cammino nel quale docenti e studenti sono realmente consapevoli dell'importanza dell'incontro con una risorsa umana del mondo della ricerca scientifica. Prima del seminario ho ideato e attuato quindi una fase di preparazione all'ascolto e alla comprensione, in particolare lavorando su parole e concetti scientifici chiave e dopo il seminario ho promosso un serio lavoro di elaborazione, confronto e verifica.

Soprattutto nelle classi terze, ma anche nelle quinte, per garantire a tutti gli studenti una partecipazione effettiva, ho chiesto a ogni studente di elaborare la propria mappa concettuale utilizzando le differenti parole scientifiche-chiave *bioenglish* come sarebbero state presentate in successione dal relatore. Gli studenti hanno portato in sede di seminario il proprio schema da integrare con quanto realmente compreso dalla presentazione del relatore.

Successivamente è stata creata una «rete *bioenglish*» di attività differenziate che coinvolgono tutti gli studenti.

Partendo dal materiale proiettato durante il seminario è stato possibile inoltre riproporre agli studenti alcuni disegni e immagini significative, mai associate a contenuti scritti, chiedendo spiegazioni e breve contestualizzazione tematica in inglese sempre nell'ottica di promuovere dialogo, dibattito e confronto.

Non dunque occasioni di «conferenze culturali» obbligatorie e imposte agli studenti, ma occasioni di strutturati «incontri formativi» costruiti da docente - ricercatore liceale insieme al mondo della ricerca scientifica, aiutando gli studenti a superare la percezione di netta separazione tra due mondi non abituati a dialogare con obiettivi comuni e quindi alimentando spesso diffidenza nei confronti delle scoperte ed applicazioni scientifiche

Educare a comprendere la cultura della ricerca scientifica

Il «progetto *bioenglish*» che ho attuato mi ha convinto che può essere utile integrare strumenti, metodi e principi comuni a più discipline per approfondire, in lingua inglese, interessanti aspetti di alcune tematiche di argomento biologico. In particolare, la biologia offre occasioni formative sia nell'ideare attività *bioenglish* nelle proprie classi, sia promuovendo la collaborazione con docenti e ricercatori universitari nel rispetto dei tempi e delle reali necessità delle differenti programmazioni di classe.

Occorrono però docenti che possano superare proposte di frammentate conoscenze strutturate secondo le singole discipline, rendendo gli studenti capaci di comprendere i fondamentali legami tra le diverse parti e la totalità del sapere, svolgendo anche una «azione intrinseca di orientamento» alla cultura della professione di scienziato.

Un cammino formativo per educare alla complessità del reale, una realtà scientifica in continuo divenire, caratterizzata dall'acquisizione di conoscenze parziali e incerte nel quale è fondamentale il gusto della sfida alla scoperta, all'acquisizione di nuove conoscenze.

Fondamentale dunque lavorare insieme agli studenti per «Sviluppare l'attitudine della mente umana a situare tutte le informazioni in un contesto ed in un insieme. È necessario insegnare metodi che permettano di cogliere le mutue relazioni e le reciproche influenze fra parti e tutto in un mondo complesso», come afferma il filosofo francese Edgar Morin in *Insegnare a vivere: manifesto per cambiare l'educazione*.

Marina Minoli (Biologa dell'Ordine Nazionale, titolare della cattedra di Biologia e Chimica presso il Liceo Scientifico "Marconi" di Chiavari. Esperta di comunicazione scientifica e didattica delle scienze).

Michele Mazzanti (Ordinario di Fisiologia presso il Dipartimento di Bioscienze dell'Università degli Studi di Milano. Esperto di Neuroscienze Cellulari e Molecolari).

Indicazioni bibliografiche e sitografiche

Marina Minoli, *La didattica dell'energia*, Scienza Attiva, Università degli Studi di Torino, 2013

Theresa Chen, *Some words and different meanings: Miscommunication between Neuroscience and Society*, Learning and the brain, January 28/2/2016.

Kayt Sukel, *A study of motivation*, Dana Neuroscientist, 14 gennaio 2016.

Marina Minoli, *Il nuovo Immagini della Biologia, Campbell – Guida per docenti, "Bioinformatica: un approccio didattico"*, Pearson Editore 2010.

Marina Minoli, *Geni per l'Alzheimer: la scoperta della nicastrina*, Le Scienze- Scientific american, 1/2001.

Marina Minoli, *Si può innovare la didattica senza tradire il passato?*, www.ilsussidiario.net, 29/8/2015.

Marina Minoli, *Laboratorio di didattica della biologia*, Università degli Studi di Milano a.a. 2014/2015.

Edgar Morin, *Insegnare a vivere: manifesto per cambiare l'educazione*, Raffaello Cortina Editore, 2015.

Barbara Chierichetti, Brunella Pisani, *Breve storia del progetto CLIL per un dibattito critico e costruttivo*, in *Emmeciquadro* n° 60, marzo 2016.

Giovanni Gobber, *Riflessioni sul progetto CLIL – Content and Language Integrated Learning*, in *Emmeciquadro* n° 48, marzo 2013.