

## ELEMENTI DI INNOVAZIONE DIDATTICA NELLO STUDIO DEL «CUORE» AL LICEO SCIENTIFICO Un approccio storico, anatomico, fisiologico (2)

di Marina Minoli \* e Michele Mazzanti \*\*

*Un percorso didattico sul cuore e il sistema circolatorio, svolto nella quarta classe di un liceo scientifico.*

*Innovativo perché consapevole dei diversi approcci con cui si può studiare il corpo umano - tenendo presente la complessità strutturale e funzionale e le interrelazioni tra sistemi.*

*Innovativo perché lo sguardo storico illustrato nella **prima parte di questo contributo** (vedi n. 64 – Marzo 2017) ha efficacemente introdotto i temi fisiologici specialistici.*

*Innovativo perché bilancia in modo equilibrato tradizione e modernità, utilizzando anche strumenti digitali e siti internazionali.*

*L'incontro con la ricerca universitaria e la sua tradizione ha sollecitato domande personali e permesso un apprendimento consapevole, in cui le informazioni anche più complesse assumono senso e non sono solo memorizzate.*

\* Docente di Biologia e Chimica presso il Liceo Scientifico "Marconi" di Chiavari, membro eletto Royal Society of Biology di Londra

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

Come ho già accennato nella *prima parte di questo contributo*, il percorso di apprendimento sul cuore e il sistema circolatorio svolto nella classe quarta del liceo scientifico - più precisamente nelle due classi quarte in cui insegno -, è stato anche per me un costruttivo aggiornamento che mi ha portato a realizzare nuove azioni nel quotidiano lavoro di insegnamento.

Ho esplorato nuovi modi per comunicare i contenuti, in particolare attraverso l'analisi di siti didattici internazionali - che ho scelto di accostare alle lezioni tradizionali e di utilizzare come occasioni di lavoro serio.

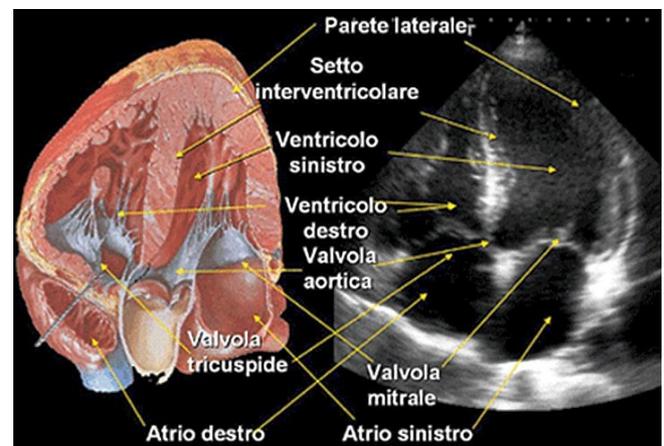
Altrettanto importante è stato il confronto con il mondo della ricerca universitaria. Si è trattato di un seminario tenuto nella sede del liceo, a Chiavari: una lezione a classi congiunte, le due quarte in cui insegno, che ha suscitato curiosità e domande tra gli studenti rendendoli protagonisti dell'apprendimento.

Il lavoro complessivo è stato impegnativo: avendo ben presenti i concetti e le attività legati all'impianto storico, illustrati nella prima parte, qui tratterò il lavoro svolto su aspetti più strettamente fisiologici, in particolare sulla dinamica del cuore, facendo riferimento alle conoscenze recenti ottenute con tecnologie diagnostiche avanzate. A documentare che è possibile coniugare il nuovo e l'antico, la storia della scienza e le moderne acquisizioni scientifiche relative al sistema cardiovascolare.

### Un percorso ragionato: lezioni in classe, esplorazione in rete, incontro seminariale

Il seminario scientifico è stato accuratamente co-progettato affinché potesse risultare formativo, ossia mettesse in moto la ragione degli studenti, la loro curiosità e la loro riflessione. In particolare, nell'impostare la relazione, abbiamo cercato di accordare gli aspetti accademici e le finalità didattiche.

L'incontro è stato preceduto dalle mie lezioni di anatomia e fisiologia del sistema



Disegno del cuore affiancato al tracciato dinamico che si può ottenere oggi con la tecnica dell'ecocardiografia

cardiovascolare ed è stato preparato dal lavoro di studio e di ricerca in classe, anche attorno a domande nate dal lavoro personale o a gruppi.

### *Elementi di anatomia e fisiologia del sistema cardiovascolare*

Sono partita da riflessioni sulle funzioni di questo sistema nel controllo dell'equilibrio omeostatico termico e chimico del nostro organismo, sottolineando soprattutto il fatto che il sistema cardiovascolare serve a collegare vari organi e apparati dislocati in tutto il corpo, assumendo quindi una funzione sistemica.

Un importante riferimento è stato quello al fatto che il sangue mantenga costante il valore del pH grazie ai sistemi tampone; sangue troppo acido determinerebbe la denaturazione delle proteine che non potrebbero svolgere più la loro funzione.

Il cuore è stato così presentato come «componente» fondamentale del sistema corpo, una vera e propria «macchina» che produce un battito costante fino alla morte dell'individuo.

Il cuore è un muscolo involontario che, con le sue contrazioni, converte l'energia chimica nell'energia meccanica necessaria per svolgere la sua funzione principale: pompare il sangue a tutte le regioni dell'organismo.

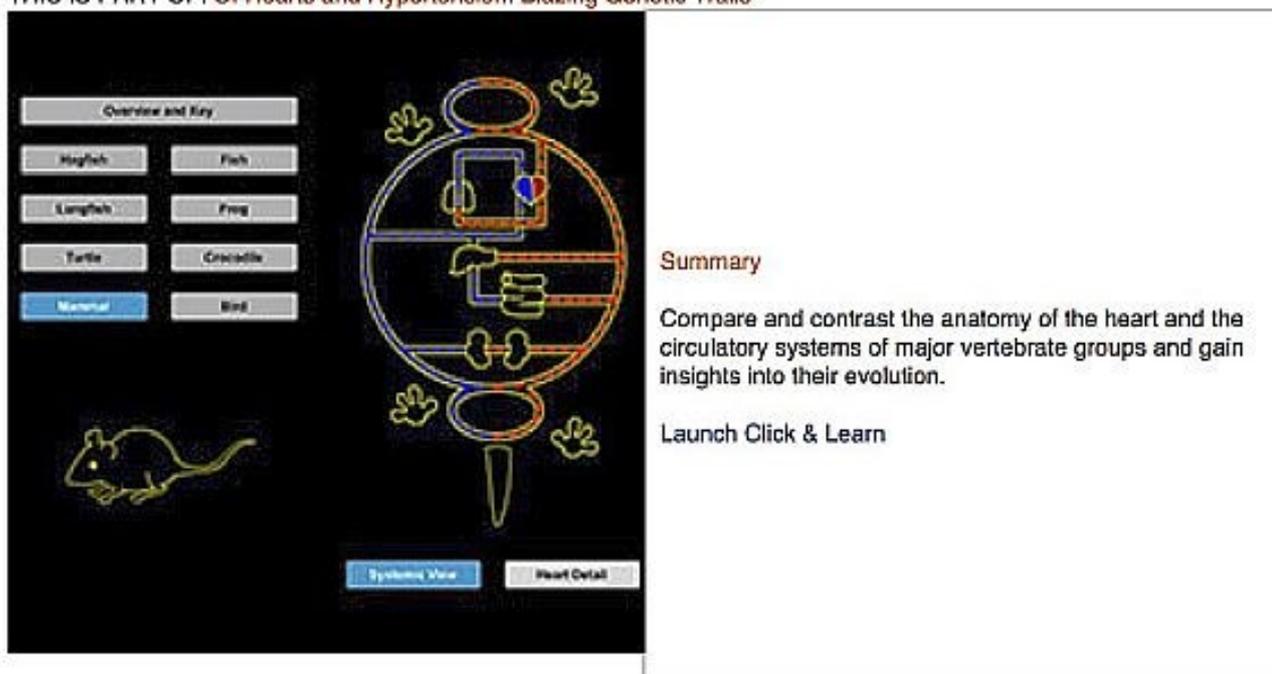
### *L'evoluzione del cuore nei Vertebrati*

Per quanto riguarda il confronto tra sistemi cardiovascolari nella scala evolutiva, argomento di anatomia comparata di grande significato e solitamente svolto facendo riferimento ai libri di testo, prima del seminario ho guidato gli studenti nella consultazione del sito *Cardiology virtual lab* dell'*Howard Hughes Medical Institute*.

Dalla *home page* del sito ([www.hhmi.org](http://www.hhmi.org)) cliccando su *Topics* e, successivamente, su *Circulation* (in *Organismal biology*), si raggiunge la sezione *Vertebrate Circulatorium*, di cui riportiamo qui sotto la schermata iniziale.

### Vertebrate Circulatorium

THIS IS PART OF: *Of Hearts and Hypertension: Blazing Genetic Trails*



**Summary**

Compare and contrast the anatomy of the heart and the circulatory systems of major vertebrate groups and gain insights into their evolution.

Launch Click & Learn

Compare the circulatory systems of different vertebrate groups and explore how during evolution the structure of the heart has changed drastically from the relatively simple two-chambered heart of fish, to the three-chambered heart of amphibians and reptiles, and the four-chambered heart of mammals and birds. Interesting adaptations include the heart of the crocodile, which changes its circulatory pattern depending on whether the animal is diving underwater or on the surface. The heart of a mammalian fetus shows a circulatory pattern reminiscent of that of the crocodile diving underwater. This Click and Learn supplements the 1998 Holiday Lectures on Science.

In questa sezione sono presenti riproduzioni schematiche e dinamiche della struttura (in particolare le suddivisioni anatomiche del cuore e il decorso dei vasi) e della fisiologia (in particolare il percorso e/o il rimescolamento del sangue) nel sistema circolatorio di diversi animali: *frog* (rana), *fish* (pesce), *turtle* (tartaruga), *crocodile* (coccodrillo).

In questo modo è possibile, anche per i ragazzi della scuola superiore, una visione semplificata, ma non banalizzata, di concetti chiave come la circolazione semplice piuttosto che doppia e completa e i rapporti con il sistema respiratorio nelle diverse classi dei Vertebrati.

La consultazione, di tipo interattivo, non è stata solo interessante e divertente, ma è stata utile anche per educare a un uso ragionato e rigoroso delle fonti digitali e si è conclusa per tutti gli studenti con una breve relazione scritta con l'analisi descrittiva comparata tra i differenti sistemi cardiovascolari.

### *Il seminario*

Nell'ambito dell'attività seminariale è stata effettuata un'esposizione sul cuore strutturata in modo dialettico, che ha incuriosito gli studenti guidandoli a ragionare, interpretare, richiamare concetti-chiave di chimico-fisica per apprendere da protagonisti nuovi contenuti.

Come riporto di seguito in dettaglio, sono state svolte soprattutto riflessioni sulla dinamica funzionale del cuore e sulla conducibilità elettrica del miocardio, terminando con un'analisi del tracciato elettrocardiografico.

Questi contenuti e concetti-chiave sono stati ripresi nelle successive lezioni di biologia. Ho verificato la loro acquisizione anche nell'ambito di una specifica verifica scritta.

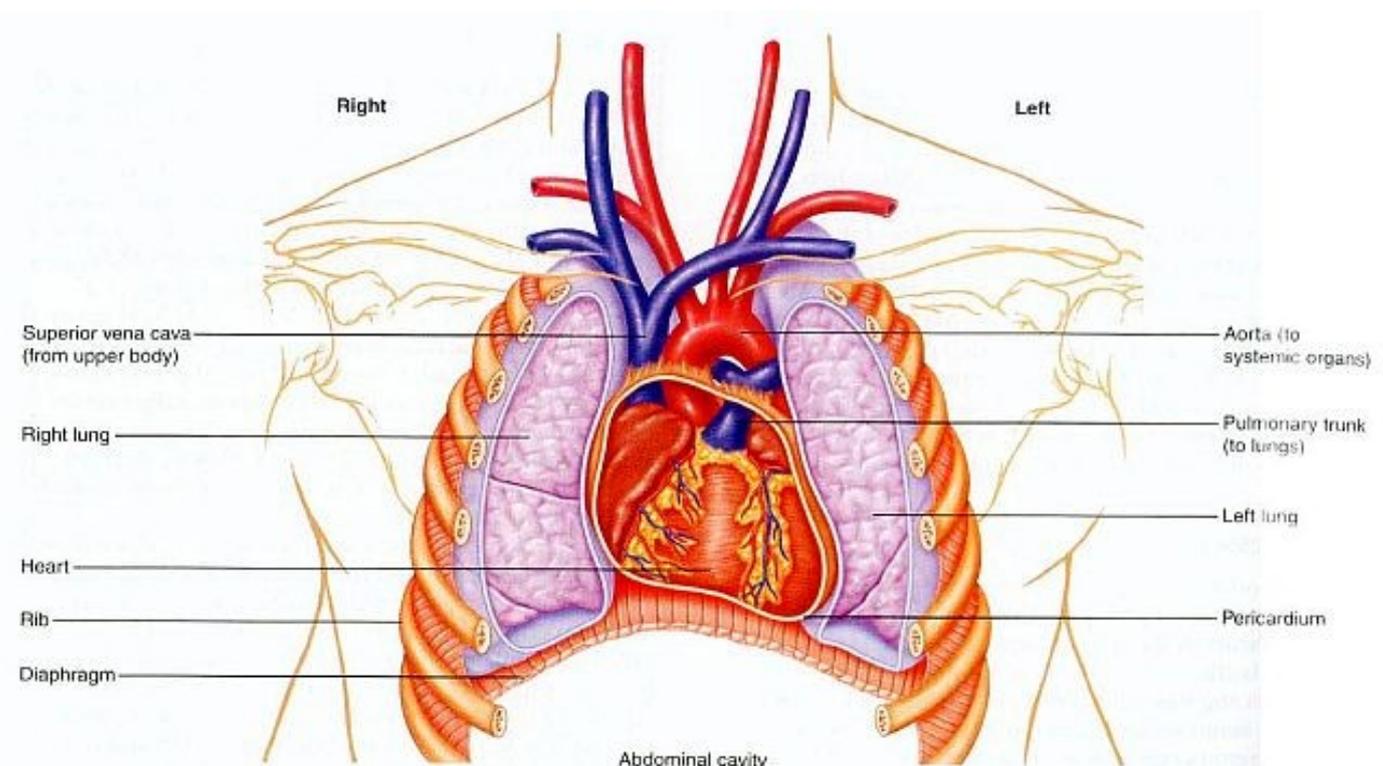
I grafici, gli schemi e le immagini sono stati utilizzati durante il seminario.

### **Tante domande sul cuore e le sue funzioni**

Le domande che ci siamo posti sul cuore hanno innescato le risposte e le riflessioni ragionate sui contenuti. Riportiamo di seguito alcuni esempi circostanziati e rimandiamo, per una trattazione più ampia, ai testi di fisiologia o alla documentazione in rete.

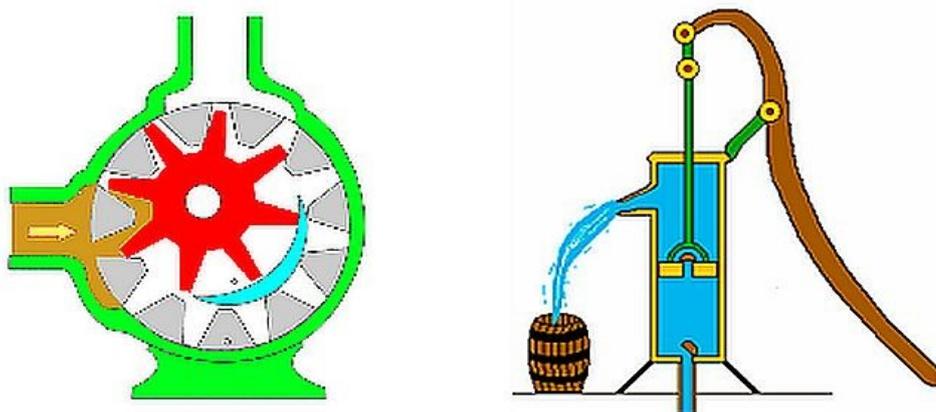
### *Perché il cuore è in questa posizione anatomica?*

Il cuore si trova nella posizione in cui è, ovvero al centro della cavità toracica tra i due polmoni e dietro lo sterno, per diverse ragioni importanti.



Anzitutto è necessario che si trovi in una posizione dove, per le caratteristiche dell'organismo che lo contiene, sia facilitata la sua funzione di fare raggiungere al sangue tutti i distretti del corpo. Per questioni anatomiche la posizione più consona vede il cuore vicino ai polmoni e vicino a organi vitali come il cervello, il fegato e i reni. Si potrebbe anche pensare che, essendo l'uomo in posizione eretta, per raggiungere un organo fondamentale come il cervello si debba vincere la resistenza data dalla forza di gravità. Per questo il cuore si troverebbe nella parte superiore del corpo.

*Il cuore ha una struttura complessa: è pompa o mulinello?*



Perché il cuore ha una struttura così complessa? Perché funziona come una pompa e non come un più semplice mulinello, dispositivo che richiede un minore consumo energetico?

La risposta è che in un sistema biologico il movimento rotatorio a 360° è inadeguato perché rende più complicato sia l'approvvigionamento di nutrienti sia il controllo delle funzioni.

Nel nostro organismo l'apporto di cibo è dato dal sistema circolatorio fatto di arterie e di vene mentre il controllo si esplica attraverso i nervi.

Questi «cavi» che raggiungono l'organo bersaglio non hanno la possibilità di interagire con un elemento rotante perché si attorciglierebbero.

Occorre concepire sistemi che pur avendo un movimento (limitato) riescano a essere assistiti con delle connessioni fisiche. Una pompa ha queste caratteristiche.

Il cuore in questo senso ha la parte superiore a cui arrivano e da cui partono tutte le cablature mentre la parte inferiore è libera di muoversi.

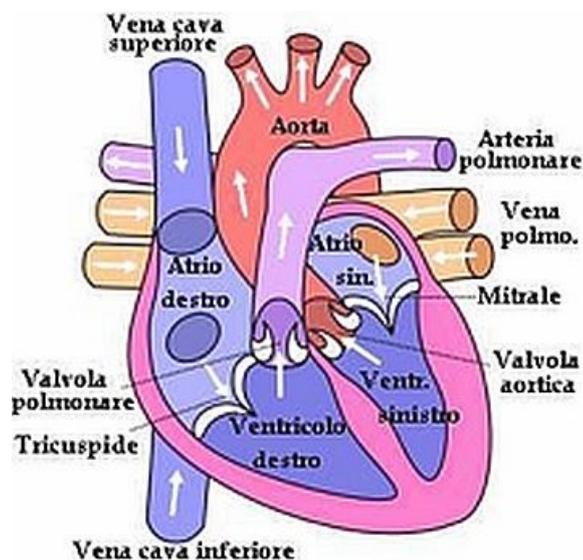
Il cuore come tutto il tessuto muscolare è di fatto un trasformatore di energia: sfruttando l'energia chimica (ATP) riesce ad accumulare energia potenziale elettrico a cavallo della membrana delle sue cellule che, in seguito all'eccitazione, viene trasformata in energia meccanica.

Dal punto di vista funzionale il cuore è di fatto una pompa con due camere indipendenti: atrio e ventricolo destro che sono devoti alla circolazione polmonare mentre le loro controparti sinistre si occupano della circolazione sistemica.

Nella fase di diastole atri e ventricoli si riempiono di sangue proveniente dalle due circolazioni parallele. Nella successiva fase di sistole (contrazione) la susseguente eccitazione di atri e ventricoli assicura prima il passaggio del sangue dagli atri ai ventricoli e in seguito il raggiungimento di un'elevata pressione ventricolare che consente di pompare il sangue verso i polmoni e nel circolo sistemico.

La pompa cardiaca funziona correttamente solamente se funzionano in modo ottimale le valvole cardiache, poste a livello della parete di separazione tra l'atrio e il ventricolo destro (valvola tricuspide) e tra l'atrio e il ventricolo sinistro (valvola bicuspide o mitrale) e all'inizio dell'aorta e dell'arteria polmonare (valvole semilunari).

Gli studenti sono stati molto interessati scoprendo che eventuali problemi alle valvole cardiache possono essere registrati da un ecocardiogramma sotto sforzo, esame che viene effettuato anche in una visita medico sportiva.



*Perché il cuore è un muscolo particolare?*

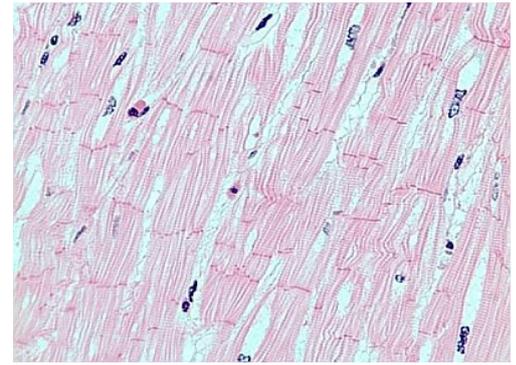
La maggior parte della massa cardiaca è costituita da un tessuto muscolare particolare, chiamato muscolo cardiaco.

Nel cuore le cellule rimangono singole. Ogni cellula presenta al suo interno le miofibrille formate dai sarcomeri in serie. I nuclei sono al centro della cellula.

Per garantire un orientamento nella contrazione le singole cellule cardiache si legano tra loro solo longitudinalmente. Questo legame non è puramente anatomico ma anche funzionale.

Infatti le giunzioni aderenti (*gap junctions*) oltre a garantire un solido legame fisico tra le cellule, forma anche quella che viene definita una sinapsi elettrica che assicura il passaggio dello stimolo eccitabile da una cellula all'altra.

Questo garantisce che una volta stimolato il muscolo cardiaco abbia una contrazione sincrona in tutte le sue parti.



Sezione di muscolo cardiaco umano (100x)

*Che cosa significa che il cuore è autoritmico?*

Il cuore è autoritmico, ossia è in grado di generare i potenziali d'azione che fanno contrarre ritmicamente le sue cellule.

Questa proprietà è dovuta a un gruppo di cellule (*pace-maker cells*, ossia cellule segna-ritmo) che sono situate nel nodo seno-atriale, nella parte superiore dell'atrio destro. Come vedremo in dettaglio più avanti, queste cellule sono in grado di una depolarizzazione spontanea che, a ogni ciclo, porta la differenza di potenziale della membrana a un valore a cui riesce a generare il potenziale d'azione.

Il potenziale di azione generato dal *pace-maker* (nodo senoatriale) si propaga velocemente da una cellula cardiaca all'altra grazie alle *gap junction*, ossia sinapsi elettriche.

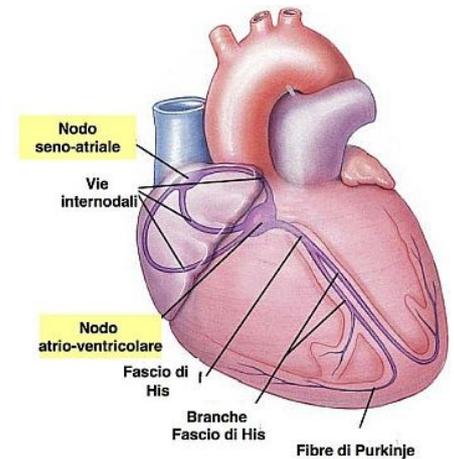
In un cuore umano il sistema autoritmico è organizzato in modo da produrre un ciclo al secondo circa.

Una volta generato, il potenziale d'azione delle cellule *pace-maker* lo stimolo depolarizzante invade gli atri e raggiunge il nodo atrio-ventricolare che si trova nella parete di separazione tra l'atrio e il ventricolo destro.

Qui l'onda eccitatoria viene indirizzata nel sistema di conduzione dei ventricoli, detto fascio di His, che si trova nel setto di separazione verticale tra le due cavità e termina con le cellule del Purkinje che si localizzano all'apice inferiore dei ventricoli.

Le fibre del Purkinje, a loro volta, distribuiscono l'eccitazione del tessuto ventricolare dall'apice inferiore radialmente ma contemporaneamente con una preferenziale direzione dal basso verso l'alto.

In questo modo i ventricoli contraendosi sequenzialmente spingono il sangue attraverso l'aorta nella circolazione sistemica e attraverso l'arteria polmonare ai polmoni.



Fisiologia  
D.M. Swartham  
Copyright 2005, 2000 Casa Editrice Ambrosiana

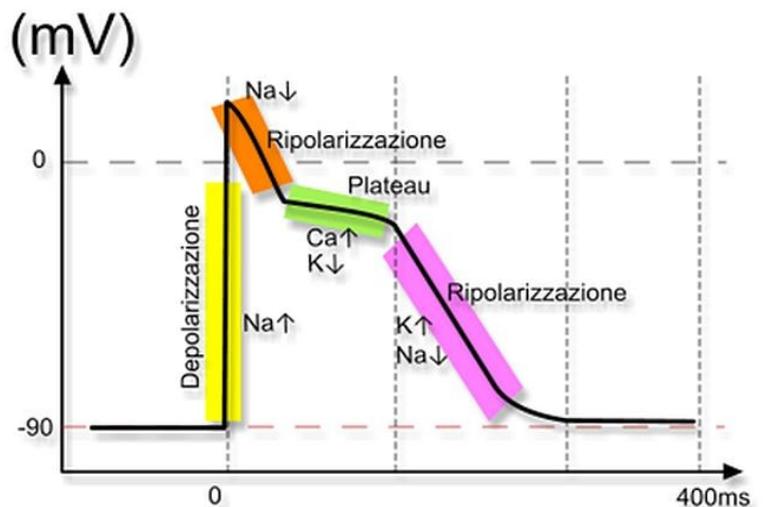
**Un'equazione chimica per interpretare l'eccitabilità delle cellule cardiache**

Un'equazione chimica che gli studenti hanno studiato nel programma di elettrochimica, l'equazione di Nernst, è stata esplicitamente utilizzata per interpretare un fenomeno biologico: l'eccitabilità delle cellule cardiache.

Ogni cellula ha un proprio potenziale di membrana (EM). Le cellule cardiache, come i neuroni e le cellule muscolari, sono definite «eccitabili», ossia capaci di rispondere a uno stimolo con un'energia estremamente maggiore rispetto allo stimolo ricevuto.

La differenza di potenziale di membrana di una cellula è legato alla diversa concentrazione di ioni all'interno e all'esterno della cellula, sebbene ciò che propriamente determina il potenziale di membrana è la permeabilità ionica della membrana stessa. In assenza di permeabilità non esiste potenziale.

Gli ioni protagonisti del potenziale di membrana sono lo ione sodio ( $\text{Na}^+$ ) e lo ione potassio ( $\text{K}^+$ ). Utilizzando



Potenziale d'azione di una cellula cardiaca del ventricolo. Le frecce indicano la direzione in cui gli ioni attraversano la membrana durante le varie fasi del potenziale d'azione.

l'equazione di Nernst è possibile calcolare il potenziale di equilibrio dello ione sodio e dello ione potassio ( $E_{Na}$  e  $E_K$ ). Nel testo che segue  $I$  è l'intensità di corrente, mentre  $E$  indica il potenziale.

Nelle cellule ventricolari lo stimolo proveniente dalle cellule *pace-maker* provoca una depolarizzazione che causa l'apertura dei canali sodio ( $I_{Na}$ ) che innescano il potenziale d'azione (AP). Il potenziale di membrana si allontana dal valore del potassio e si avvicina al valore del sodio, raggiungendo 40 mV.

Una volta avvicinati a questo valore di potenziale la cellula ha una prima ripolarizzazione (precoce) dovuta a particolari canali del  $K^+$  ( $I_{K_A}$ ), ossia canali del potassio del tipo A, a corrente transiente che si aprono quando una cellula si depolarizza in seguito a iperpolarizzazione.

Essi stabilizzano momentaneamente (decine di millisecondi) il potenziale di riposo delle cellule nervose a un valore depolarizzato (circa 0 mV) che mantiene attive la corrente selettiva per lo ione calcio, ( $I_{Ca}$ ) importante per la contrazione del muscolo cardiaco.

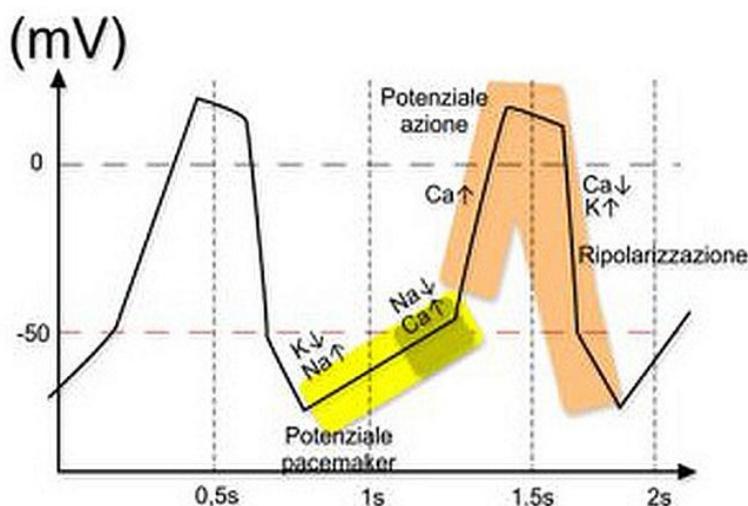
A questo punto, in seguito alla precoce inattivazione dei canali del sodio (veloce) e dei canali del calcio (ritardata), la lenta attivazione dei canali di  $K^+$  ( $I_{K_{DR}}$ ), prende il sopravvento ed è in grado di ristabilire il potenziale di partenza (ripolarizzazione tardiva). Infatti, i canali ( $I_{K_{DR}}$ ), ossia rettificanti ritardati (*delayed rectifier*), sono attivati dalla depolarizzazione della membrana e riducono l'intensità e la durata del potenziale azione.

Il potenziale di azione delle cellule *pace-maker* è diverso da quello delle cellule ventricolari. Come già accennato, le cellule *pace-maker* determinano l'autoritmicità del muscolo cardiaco.

Questo avviene grazie a una corrente che si attiva in iperpolarizzazione ( $I_f$  - corrente *funny*) e che è una corrente mista  $Na^+/K^+$ .

Una volta attivata la corrente *funny*, dato il valore del potenziale di membrana delle cellule (-60 mV circa) il flusso ionico maggiore sarà di ioni sodio che in questo modo depolarizzano la membrana. La lenta depolarizzazione (centinaia di millisecondi) porta il potenziale di membrana a un livello dove si attivano i canali di calcio.

I canali del sodio ( $I_{Na}$ ) sono assenti nelle cellule *pace-maker*. Quindi il potenziale d'azione delle cellule autoritmiche del cuore è dovuto principalmente alla corrente di calcio ( $I_{Ca}$ ). La ripolarizzazione avviene poi sempre a carico della corrente di potassio ( $I_{K_{DR}}$ ).



Il potenziale d'azione del *pace-maker*. La corrente *funny* (corrente mista  $Na^+/K^+$ ), in corrispondenza del tratto giallo del grafico è responsabile della autoritmicità del cuore. Le frecce indicano la direzione in cui gli ioni attraversano la membrana.

### Perché studiare l'elettrocardiogramma

Gli studenti per necessità sanitarie personali o familiari sempre più spesso in anni precoci anche per potere svolgere attività sportive effettuano un esame diagnostico come l'elettrocardiogramma. Sono quindi incuriositi nel conoscere il riscontro fisiologico di questo esame correlato con le fasi di sistole e diastole del ciclo cardiaco.

L'elettrocardiogramma (ECG) è una tecnica diagnostica non invasiva che produce un grafico nel quale vengono descritti i fenomeni elettrici che accompagnano l'attività cardiaca in modo dinamico.

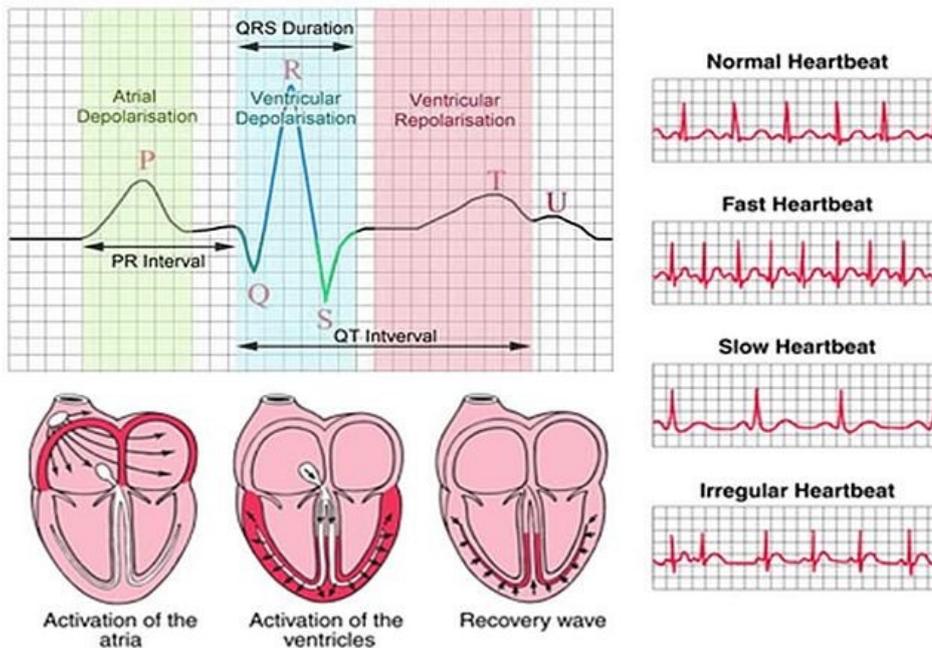
Con un preciso posizionamento di elettrodi vengono costruiti dei circuiti che permettono di registrare le differenze di potenziale durante il battito cardiaco.

Il tracciato è caratterizzato da differenti tratti denominati onde, positive e negative, che si ripetono a ogni ciclo cardiaco. Facendo riferimento al tracciato è stato interessante e stimolante descrivere le differenti onde (P, QRS, T, U).

L'onda P rappresenta la prima onda eccitatoria che invade gli atri dovuta al meccanismo autoritmico proprio del nodo del seno che tramite le cellule *pace-maker* è responsabile della frequenza cardiaca di base.

Segue un intervallo in cui l'impulso passa dagli atri tramite il nodo seno-atriale al sistema conduttivo dei ventricoli attraverso il fascio di His fino alle cellule del Purkinje (onda Q). A questo punto si ha l'eccitazione ventricolare (onda R) la precoce ripolarizzazione (onda S) seguita dal periodo di *plateau*.

Con l'onda T e U si conclude il ciclo eccitatorio cardiaco con la ripolarizzazione tardiva.



Rappresentazione grafica dell'elettrocardiogramma

Tra le differenti anomalie che si possono riscontrare in un tracciato elettrocardiografico, è didatticamente utile, perché facilmente riconoscibile nel grafico, la sindrome del Q-T lungo (*Long Q-T*), che cioè provoca un prolungamento dell'intervallo Q-T del tracciato. Questa anomalia, che è correlata ai casi di morte improvvisa dei neonati chiamata anche «morte in culla» e determina infatti aritmie ventricolari che possono essere mortali, sembra avere tra le cause più comuni mutazioni nei geni che codificano i canali al  $K^+$  cardiaci.

### Per la salute del sistema cardiovascolare: una ricerca ragionata

A conclusione del percorso progettuale di classe, ho deciso di consapevolizzare gli studenti in merito alle cause di alcune patologie del sistema cardiovascolare coinvolgendoli, a gruppi, in una analisi ragionata di fonti scientifiche che portasse alla scrittura di un *abstract*.

Ho chiesto quindi un lavoro su diversi fronti: la lettura di articoli scientifici (in italiano e in inglese) la loro interpretazione alla luce dei diversi argomenti trattati in classe e, infine, la scrittura di un testo.

A tutti gli studenti di entrambe le classi quarte è stato consegnato il testo dell'articolo *Uno sguardo alla salute globale: numeri di scienza*, (*Linx magazine*, aprile 2013, 32-33) nel quale vengono rappresentati anche graficamente, con un areogramma descrittivo, i principali fattori di rischio per la salute: comportamenti e alterazioni metaboliche soprattutto in relazione alle più importanti malattie croniche, tra le quali le cardiopatie. In questo caso la scrittura di un *abstract* ha richiesto il passaggio dai dati numerici, forma di comunicazione sintetica, alla argomentazione analitica e ragionata.

Inoltre ho assegnato agli studenti la ricerca in rete di un articolo in lingua inglese: *Sugar restriction: the evidence for a drug-free to reduce cardiovascular diseases*, di S. Thornley, R. Taylor, K. Sikaris pubblicato nel 2012 su *International Medicine Journal*. Gli studenti con migliori competenze in inglese hanno effettuato una lettura integrale dell'articolo preparando una breve sintesi da presentare in italiano alla classe; gli altri studenti a coppie hanno scelto di leggere, analizzare e sintetizzare una o due sezioni dell'articolo da integrare con informazioni del *Health World Organization* preparando una sintesi scritta di due cartelle.

Nel testo che ho proposto gli autori si interrogano sui comportamenti alimentari da adottare per ridurre il rischio di malattie cardiovascolari soprattutto in relazione al consumo di zuccheri. Secondo gli autori troppa attenzione sarebbe stata accordata negli ultimi trent'anni ai grassi saturi come principali responsabili della genesi di malattie cardiovascolari, tralasciando il ruolo degli zuccheri che diventano quindi l'oggetto di analisi della pubblicazione.

Una sezione dell'articolo si concentra in particolare sul diabete, patologia che si è diffusa come una sorta di onda epidemica a partire dagli anni Ottanta del secolo scorso, inizialmente in paesi anglosassoni, prevalentemente gli Stati Uniti.

Le sezioni dell'articolo intitolate *Physiology of fructose* e *Epidemiological association between fructose intake and risk factors for cardiovascular disease*, dopo traduzione in italiano da parte di un gruppo di studenti, sono state analizzate per comprendere una correlazione positiva tra l'assunzione di alimenti zuccherati e genesi di malattie cardiovascolari.

Si procede per piccoli gruppi ad approfondimenti dei dati presentati nella sezione *Sources of fructose in the diet* comparando le quantità medie assunte nelle differenti fasce di età nei paesi del mondo anglosassone, a partire da un elevato consumo soprattutto di bevande dolcificate.

Gli studenti, molto motivati in merito alla tematica, svolgono ricerche di approfondimento sul consumo di zuccheri, consultando almeno tre fonti attendibili di cui una internazionale e presentando in modo informatizzato alla classe i risultati del lavoro svolto anche sul problema del *sugar addiction*, la dipendenza dal consumo da zuccheri. La classe diventa così comunità di apprendimento scientifico condiviso, al termine delle differenti presentazioni tutti gli studenti devono elaborare una breve relazione scritta che integri differenti e significativi risultati presentati da tutte le presentazioni.

### **Per una cultura della complessità biologica**

Nonostante decenni di ricerca sul funzionamento del sistema cardiocircolatorio e sulle cause delle sue degenerazioni patologiche ci troviamo ancora oggi ad avere parecchi punti oscuri nella comprensione della fisiologia e patologia del cuore e dell'albero circolatorio.

Vi è, per esempio, un enorme investimento intellettuale e materiale nella sperimentazione sull'utilizzo delle cellule staminali per rendere di nuovo attivo il tessuto cardiaco infartuato. Infatti, nella sede della «frattura» si forma un tessuto fibroso che non conduce il potenziale elettrico. Riuscire a rendere di nuovo eccitabili le zone infartuate del ventricolo potrebbe prevenire nuovi traumi, operazioni costose e impegnative come i trapianti.

Dal punto di vista della prevenzione vi è ancora un enorme lavoro da fare di educazione alimentare e comportamentale.

Il cibo che ingeriamo conta praticamente per un 70 per cento nella nostra qualità della vita in termini di salute. Occorre quindi informarsi o essere guidati sia per quello che riguarda una corretta alimentazione che un corretto esercizio fisico.

La ricerca scientifica in questi due campi si è molto sviluppata in questi ultimi anni e la tendenza è quella di aumentare gli sforzi in questa direzione. Una popolazione che si alimenta bene e che è in buona forma fisica oltre ad avere una condizione di vita migliore ha un ritorno economico enorme con un notevole risparmio nelle spese sanitarie. In questa prospettiva, sono sempre più convinta che sia fondamentale attivare nelle progettazioni didattiche percorsi che educano a comprendere che la vita non può essere spiegata solo a livello molecolare e genetico, che i sistemi biologici devono essere studiati come sistemi complessi che derivano da interazioni dinamiche a differenti livelli di componenti che operano in modo coordinato.

*Marina Minoli*

*(Biologa dell'Ordine Nazionale, titolare della cattedra di Biologia e Chimica presso il Liceo Scientifico "Marconi" di Chiavari. Membro eletto della Royal Society di Londra)*

*Michele Mazzanti*

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

**Indicazioni bibliografiche e sitografiche**

1. [Cardiology Virtual Lab HHMI Biointeractive-Howard Hughes Medical Institute](#)
2. George Johnson, *I dieci esperimenti più belli*, Bollati Boringhieri, Torino 2009.
3. Marina Minoli, *Progesterone ed arteriosclerosi*, *Pharmacy* 4/2008.
4. Marina Minoli, *Il selenio ci aiuterà a conservare la salute?*, *Il Corriere del Ticino Scienza*, Confederazione Elvetica, 12/11/1998.
5. Marina Minoli, *Contro la malnutrizione*, *Le Scienze - Scientific American*, 2/2002.
6. Marina Minoli, *Si può innovare nella didattica senza tradire il passato?*, [www.ilsussidiario.net/](http://www.ilsussidiario.net/), 29/8/2015.
7. [ppp.unipv.it](http://ppp.unipv.it)
8. Paolo Marazzini, *Il dibattito sulla forza elettromotrice della pila di Volta*, *Emmeciquadro* n. 01 - marzo 1998.
9. Marina Minoli, *Dal prof burocrate al docente ricercatore*, [www.ilsussidiario.net/](http://www.ilsussidiario.net/), 4/12/2012.
10. Report, *Uno sguardo alla salute globale: numeri di scienza*, Linx Magazine-Pearson, aprile 2013.
11. S. Thornley , R. Taylor , K. Sikaris, *Sugar restriction: the evidence for a drug-free to reduce cardiovascular diseases*, *Internal Medicine Journal*, 2012.