SOPRA IL POTERE ELETTRO-MOTORE SECONDARIO DEI NERVI,
E LE SUE APPLICAZIONI ALL' ELETTRO-FISIOLOGIA; MEMORIA
DI C. MATTEUCCI.

Dopo avere scoperto che i nervi acquistano per il passaggio della corrente elettrica un potere elettro-motore secondario, conducendosi in generale nel modo stesso di tutti i corpi porosi ed umidi, io dovevo riporre ogni mia cura onde studiare particolarmente questo fatto, e determinare le circostanze per le quali il nervo si mostra atto ad acquistare questa proprietà e soprattutto sforzarmi di applicare le polarità secondarie dei nervi all'elettro-fisiologia.

Tutte le volte che un principio fisico, di cui le leggi ci sono note, serve a spiegare un fenomeno di elettro-fisiologia o ciò che torna lo stesso, tutte le volte che un fenomeno elettro-fisiologico si prova essere una conseguenza di un principio fisico noto, noi abbiamo fatto un vero progresso nella scienza. Le polarità secondarie dei nervi hanno già servito ad una di queste felici applicazioni, ed in questa Memoria mi propongo di dimostrare che colle stesse polarità secondarie si può dare una spiegazione semplice e chiara di un fenomeno scoperto e molto studiato in Germania e conosciuto sotto il nome di *elettro-tone*.

Comincio dal ricordare i fatti principali delle polarità secondarie dei nervi.

Fin qui le polarità secondarie erano state scoperte nei metalli che si usano come elettrodi, e per mezzo dei quali la corrente è trasmessa in una massa liquida. Ritter, Marianini, De La Rive mostrarono, sono già molti anni, che i due elettrodi di una pila acquistano un potere elettro-motore secondario per il quale chiuso il circuito fra gli elettrodi soli dopo il passaggio della corrente, s'ingenera una corrente che si dice secondaria e che è in direzione opposta alla corrente della pila. Noi sappiamo oggi che questo potere elettro-motore secondario è dovuto ai prodotti dell'elettrolizzazione, i quali si raccolgono sugli elettrodi e finita la corrente principale e anche durante il suo passaggio reagiscono per ri-

combinarsi attraverso all'elettrolite. È ben nota l'esperienza con cui ho dimostrato molti anni addietro che gli elettrodi di platino, i quali hanno servito a decomporre l'acqua pura divengono simili a due lastre di platino una delle quali sia stata tenuta nell'ossigeno e l'altra nell'idrogeno. In questo modo come nella così detta pila a gas che è fondata sopra quella mia esperienza, quei gas si raccolgono e si condensano sulle lamine di platino, e allorchè poi queste lamine sono immerse nell'acqua, l'acqua è decomposta, da una parte dall'idrogeno e dall'altra dall'ossigeno, condensati sul platino. In questo modo nuova acqua si riproduce e l'azione particolare dei gas condensati sul platino può spiegare come quella forza di decomposizione valga a vincere l'affinità dei gas stessi già combinati allo stato di acqua.

Era naturale che i depositi dei prodotti dell'elettrolisi siano simili a quelli che si formano sugli elettrodi dovessero esistere anche nei liquidi. Questo studio non era però stato abbastanza seguito ed esiste solamente un'esperienza già antica di Peltier colla quale si prova che immergendo le estremità del galvanometro in quei punti stessi di una massa liquida in cui prima si è fatta passare una corrente elettrica con i soliti elettrodi di platino, si ottengono i segni di una corrente secondaria opposta alla corrente della pila. Come è naturale, la causa di questa corrente consistendo nei prodotti dell'elettrolisi raccolti intorno agli elettrodi, il fenomeno non poteva essere che incerto e fugace, in quanto che quei prodotti facilmente si disciolgono e si disperdono nel liquido. Perciò è che la condizione migliore per ottenere le polarità secondarie nei liquidi doveva esser quella di un conduttore umido formato da una massa solida porosa imbevuta di un liquido conduttore. A questo fine servono le strisce di carta o di un tessuto qualunque imbevuto di acqua, le paste d'amido o d'argilla egualmente umide e tutti i tessuti vegetabili o animali purchè non sieno secchi. S'intende facilmente che facendo passare una corrente attraverso uno qualunque di questi corpi porosi, dovrà accadere che i prodotti dell'elettrolisi si raccoglieranno e resteranno per un certo tempo in questo stato nei punti toccati dagli elettrodi; per cui mettendo le estremità del galvanome-

tro in contatto di quei punti, si avranno correnti secondarie forti e durevoli. Onde rappresentarci il modo di prodursi e il senso di queste correnti secondarie, basterà d'immaginare di avere una striscia di carta imbevuta di acqua e bagnata in due punti, da una parte con una soluzione acida e dall'altra con una soluzione alcalina. È questo il caso in cui si trova la striscia stessa se invece di esser bagnata in quei punti con le due suddette soluzioni fosse stata toccata dagli elettrodi di una pila tanto intensa da decomporre la soluzione salina di cui la striscia è imbevuta. Qualunque sia il modo con cui la striscia è stata così preparata basterà di ricordare i noti fenomeni elettro-chimici scoperti sono già molti anni da Nobili e da Becquerel per intendere l'origine ed il senso delle correnti secondarie ottenute sulla striscia stessa. Se questa striscia è toccata con le due estremità del galvanometro fra due qualunque dei punti già traversati dalla corrente, si ottiene una corrente secondaria in direzione opposta a quella della pila: toccando invece al di fuori degli elettrodi cioè fra i punti prossimi a quelli toccati da uno dei due elettrodi e i punti della striscia non soggetti alla corrente, si avranno pure correnti secondarie dirette come la corrente della pila, se le estremità del galvanometro sono posate come nella prima esperienza fra gli elettrodi. Non vi è nessuna difficoltà adunque a concepire gli effetti del potere elettro-motore secondario, generato in una massa solida porosa e umida dopo l'elettrolizzazione. Così determinate in generale le condizioni di questi fenomeni, si può concepire come per la varia natura dei prodotti dell'elettrolizzazione e per la diversa loro diffusione nel liquido del corpo poroso, debbano i fenomeni stessi presentare differenze e forse anche anomalie tali, che non potrebbero essere schiarite che con lunghi studi sopra ogni corpo in particolare.

Proponendoci solamente di applicare le polarità secondarie dei nervi alla spiegazione di certi fenomeni elettro-fisiologici, noi abbiamo diretto le nostre ricerche specialmente sui nervi. Senza voler qui ripetere tutte le cose già esposte nella mia Memoria sulle polarità secondarie dei nervi, ricorderò solamente che mettendo in confronto i nervi con molti altri tessuti animali e vegetabili e con molti altri corpi porosi e umidi

inorganici, non vi è difficoltà a scoprire che i nervi, indipendentemente dallo stato di vita e di eccitabilità, acquistano un potere elettro-motore secondario che è più forte e durevole che in tutti gli altri corpi nominati. Per riconoscere che questo potere elettro-motore secondario è indipendente dalla vitalità del nervo, basterà di ricordare che non vi è differenza, sia che si operi sopra un nervo, tolto da un animale vivo, oppure sopra un altro nervo simile dello stesso animale, ma preso molte ore dopo la morte e quando da lungo tempo esso aveva già perduto ogni eccitabilità. Se si ha cura di conservare il nervo umido, ciò che riesce lasciandolo in posto in mezzo ai muscoli, si troverà, anche dopo 20 o 24 ore che il nervo acquista lo stesso grado di poter elettro-motore secondario che un nervo preso immediatamente sopra un animale vivo. Ricorderò anche per lo stesso oggetto che i nervi più atti alla produzione del potere elettro-motore secondario, all'opposto di ciò che avviene per la durata dell'eccitabilità dopo la morte, sono a condizioni uguali i nervi presi sugli animali superiori piuttostochè quelli delle rane. Finalmente aggiungeremo, che un nervo tenuto in un miscuglio frigorifico oppure lasciato per due o tre secondi nell'acqua a $+ 60$ o 65 gradi C. conserva la proprietà di acquistare il potere elettro-motore secondario. È sempre notevole l'esperienza di un nervo, lo sciatico di una pecora, lungo 20 o 24 centimetri, il quale acquista il potere elettro-motore secondario in tutti i suoi punti per un passaggio di corrente che può essere ridotto ad una frazione piccolissima di secondo. L'esperienza si fa col mezzo di un solito commutatore che permette di chiudere prima il circuito della pila, poi di aprire questo circuito per richiudere immediatamente dopo quello del galvanometro. Merita di esser notato che la corrente secondaria ottenuta toccando in due punti, a diversa distanza fra loro, il nervo elettro-lizzato, cresce, almeno fino ad un certo limite, diminuendo l'intervallo fra le estremità del galvanometro.

È notevole la durata delle correnti secondarie così ottenute e specialmente dai nervi: infatti anche molte ore dopo il passaggio della corrente della pila e dopo molti minuti d'immersione nell'acqua dei nervi elettro-lizzati, le correnti secondarie

persistono presso a poco come prima. Si direbbe dunque che vi è nella struttura e nella composizione chimica de' nervi una ragione per cui essi sono molto più di tutti gli altri corpi sperimentati sin qui, atti a sviluppare le polarità secondarie. Il solo modo di privare i nervi di questa proprietà è o di tenerli lungamente immersi nell'acqua prima di sottoporli all'esperienza, oppure di schiacciarli e comprimerli fortemente prima, tanto da far sgorgare la materia semi-liquida che riempie la loro interna cavità.

Ricorderemo ancora che la corrente secondaria, opposta a quella della pila, ottenuta fra i punti che furono toccati dagli elettrodi, è la più intensa: fra le due correnti al di fuori degli elettrodi, la più intensa è quella che appartiene alla porzione dell'elettrodo negativo. Prolungando il passaggio della corrente per molto tempo oppure agendo con correnti molto forti, le correnti secondarie al di fuori degli elettrodi non crescono d'intensità ed alla fine cominciando dalla porzione prossima dell'elettrodo positivo queste correnti finiscono per aver tutte la stessa direzione, cioè opposta a quella della pila, e come nell'intervallo fra gli elettrodi. Per assicurarsi di questi risultati si toccano successivamente colle estremità del galvanometro i diversi punti di un nervo elettrolizzato: si può anche fare l'esperienza sopra un nervo sciatico di un coniglio o pollo, chiudendo il circuito colle estremità del galvanometro poste alle estremità del nervo. Da principio entrano nel circuito tre porzioni di nervo di cui due, cioè quelle al di fuori degli elettrodi, hanno il potere elettro-motore secondario opposto a quello della porzione intermedia. Usando correnti voltaiche più forti e passaggio più prolungato, i poteri elettro-motori acquistano in tutti i punti la stessa direzione, e perciò si trova allora che tutto il nervo dà una corrente secondaria più forte di quella che si aveva sul principio.

La prima applicazione fatta all'elettro-fisiologia del potere elettro-motore secondario dei nervi è diretta a spiegare i fenomeni che avvengono negli animali vivi o recentemente uccisi e di cui i nervi sono percorsi dalla corrente, nell'atto in cui si apre il circuito. È noto che vi sono contrazioni in questo istante e che operando in certe condizioni, le contrazioni all'apertura

del circuito non si ottengono che nel membro di cui il nervo era percorso dalla corrente inversa cioè in senso contrario alla ramificazione nervosa. La rana preparata al solito e indi divisa nell'unione delle ossa del bacino si presta ottimamente a questa esperienza. Una sua estremità è immersa in una capsula e l'altra in un'altra, e così la rana stando a cavalcioni fra le due capsule, è percorsa da un membro all'altro dalla stessa corrente allorchè gli elettrodi sono immersi nelle capsule. Con questa disposizione si vede subito che il nervo che pesca insieme all'elettrodo positivo, è percorso dalla corrente inversa, e che l'altro nervo è percorso dalla corrente diretta. Regolando convenientemente l'intensità della corrente, oppure tenendo chiuso il circuito per un certo tempo, si ottiene costantemente che il solo membro che si contrae all'apertura del circuito è quello percorso dalla corrente inversa.

Dopo aver scoperte le polarità secondarie dei nervi, la spiegazione di quel fenomeno elettro-fisiologico molto oscuro è divenuta una cosa semplice. Invece di una rana, facciamo la stessa preparazione sopra un pollo o sopra un coniglio di cui i nervi, come già lo dicemmo, sono più atti allo sviluppo delle polarità secondarie. La preparazione consiste al solito nel togliere tutti i muscoli e le ossa e i vasi delle due cosce e quindi nel lasciare le membra inferiori congiunte fra loro e al corpo, per mezzo dei soli nervi sciatici e crurali. Si fa passare una corrente di otto o dieci pile di Grove da una gamba all'altra; se s'interrompe il circuito anche dopo aver lasciato passare la corrente per pochi secondi, si troverà allora che i due nervi toccati colle estremità del galvanometro, svegliano in tutti i punti una forte corrente secondaria diretta in senso contrario alla corrente della pila. Evidentemente questa corrente è diretta nel senso della ramificazione del nervo, in quel nervo che era percorso dalla corrente così detta inversa.

L'esperienza ha anche mostrato di più, cioè che il potere elettro-motore secondario non ha la stessa intensità in tutti i punti di un nervo traversato dalla corrente e che questa intensità non è indipendente dalla direzione con cui la corrente percorre un nervo rispetto alla sua ramificazione. Un nervo sciatico qualunque di pollo o di coniglio percorso dalla corrente

elettrica e di cui in tutti i punti si può scuoprire il potere elettro-motore secondario, se è tagliato a metà, mostra col noto metodo differenziale che quel potere elettro-motore è più forte nella parte rivolta verso il polo positivo che in quella rivolta verso il polo negativo. Facendo l'esperienza sopra un nervo preso sopra un animale qualunque, si ottiene sempre una corrente differenziale, quando le due metà di quel nervo sono opposte nel circuito, e dal senso di quella corrente si deduce che il potere elettro-motore secondario più forte, è nei punti più prossimi all'elettrode positivo.

Con lo stesso metodo, cioè facendo passare la stessa corrente in due nervi simili e presi sopra lo stesso animale e solamente disposti in senso opposto quanto alla ramificazione, si può verificare costantemente che il nervo traversato in senso contrario alla sua ramificazione ha un poter elettro-motore secondario più forte che l'altro nervo in cui era la corrente diretta secondo la ramificazione.

Sarebbe difficile nello stato attuale della scienza di spiegare l'origine di quelle differenze nelle quali entreranno probabilmente la struttura e la composizione chimica del nervo: ciò che importa per noi si è che queste differenze sieno constatate con esperienze rigorose, come si è fatto all'aprir del circuito in cui era un nervo: vi son dunque nei diversi punti del nervo, dei poteri elettro-motori di cui l'intensità è massima all'apertura del circolo e che decrescono andando dai punti rivolti verso il polo positivo, verso i punti rivolti verso il polo negativo. Per queste diverse intensità e molto probabilmente anche per essere quei poteri elettro-motori disugualmente distribuiti nell'interno e nell'involuppo del nervo, ne verrà che al momento dell'apertura vi sarà nel nervo una scarica diretta nel senso della sua ramificazione e quindi in quella condizione che sappiamo dall'elettro-fisiologia essere la più propria per svegliare la contrazione.

L'esistenza di questa scarica secondaria che ha luogo nel nervo all'apertura del circuito è dimostrata posando il nervo di una rana galvanoscopica recentemente preparata in contatto di un nervo sciatico di pollo o di coniglio traversato da una corrente. Posando il nervo della rana, l'istante dopo l'apertura del cir-

cuito della pila, la rana entra in contrazione. Non vi è dunque difficoltà a concepire come questo stesso fatto debba verificarsi allorchè la corrente secondaria diretta si genera sul nervo della rana stessa, come avviene nella nota esperienza che già descrivemmo.

La seconda applicazione del potere elettro-motore secondario dei nervi all'elettro-fisiologia è relativa ad un fatto tanto importante, quanto oscuro fin qui, scoperto e molto studiato in Germania sotto il nome di elettro-tone. Si sa che nell'atto in cui si fa passare una corrente in una porzione di un nervo se il rimanente del nervo stesso è toccato dalle estremità del galvanometro si vede allora insorgere una corrente, la quale dura tutto il tempo in cui dura la corrente e che è diretta come la corrente della pila.

Lo scopritore di questo fatto e gli altri fisiologi di Germania che lo hanno studiato, hanno creduto che l'elettro-tone non si ottenesse che sopra nervi ancora dotati d'eccitabilità. Fin dal primo momento in cui intrapresi qualche studio sull'elettro-tone, mi accorsi che questo fatto era molto più intenso e durevole negli animali superiori, cioè negli uccelli e nei mammiferi che nelle rane, e siccome invece l'eccitabilità del nervo s'estingue tanto più rapidamente nei primi che nei secondi, così non vi poteva esser dubbio che l'eccitabilità del nervo non è necessaria alla produzione dell'elettro-tone. Ed infatti è facile di assicurarsi sopra un nervo preso da un animale ucciso da molte ore, che l'elettro-tone non è diverso in esso e in un nervo preso sopra un animale recentemente ucciso. Si trova anche facilmente coll'esperienza, che un nervo di coniglio lasciato all'aria purchè sia umida, può anche dopo molte ore produrre l'elettro-tone. Lo stesso deve dirsi di un nervo lasciato per qualche secondo in un miscuglio frigorifero o nell'acqua riscaldata a 50 o 60 gradi.

Per chi ha seguito la descrizione di queste esperienze sul potere elettro-motore secondario dei nervi non vi sarà difficoltà a concepire che la corrente dell'elettro-tone è nel senso stesso della corrente secondaria ottenuta al di là degli elettrodi. Per poco che sia variata la disposizione dell'esperienza principale dell'elettro-tone, quest'analogia diviene evidente. Prendiamo un

lungo nervo sciatico sopra una pecora e dopo esserci assicurati che non vi è corrente al galvanometro, toccandolo in diversi punti, disponiamo sopra un altro nervo simile l'esperienza dell'elettro-tone, avendo però cura di chiudere per mezzo di un commutatore il solo circuito della pila e di lasciare aperto quello del galvanometro. Con questa disposizione, e facendo giocare rapidamente il commutatore si ottiene la prova che aprendo il circuito della pila e chiudendo più o meno tempo dopo quello del galvanometro si ha la corrente dell'elettro-tone. Questa corrente esiste dunque anche quando la corrente della pila è cessata ed è generalmente, tutte le altre circostanze essendo uguali, la corrente dell'elettro-tone tanto più forte dopo l'apertura del circuito della pila quanto più la corrente della pila ha seguitato a passare. È necessario in queste esperienze di conservare per quanto si può la conducibilità del nervo mantenendolo umido o coll'alitarci sopra o tenendo vicino un recipiente d'acqua calda.

Un'altra analogia fra il potere elettro-motore secondario dei nervi e l'elettro-tone si ha dal vedere che ambedue questi fenomeni persistono sul nervo legato o sul nervo tagliato e di cui le due parti si mettono in contatto.

Finalmente, l'analogia diventa anche più intima allorché si studia l'elettro-tone usando correnti forti e prolungate. In questo caso si giunge ad un risultato importante che è il seguente: « allorché una corrente forte ha durato per molto tempo « a passare per una porzione di un nervo, la corrente dell'elettro-tone è costante, cioè indipendente dalla presenza e quindi « dalla direzione della corrente ». Si può dire che in questo caso l'elettro-tone non esiste più, imperocché la corrente non cresce al chiudere del circuito della pila, nè s'inverte invertendo la corrente della pila. Onde riottenere l'elettro-tone, bisogna togliere il nervo dall'esperienza, lavarlo e rasciugarlo più volte e indi rimetterlo al posto oppure adoperare una corrente più forte: Questi effetti facilmente si intendono ammettendo che vi è un certo limite nell'alterazione chimica prodotta dall'elettrolizzazione del nervo nei punti toccati dagli elettrodi; questo limite raggiunta, la corrente secondaria non può più variare.

Un'ultima analogia fra il potere elettro-motore secondario

dei nervi e l'elettro-tone si ottiene continuando il passaggio di correnti forti nei nervi. Noi abbiamo già visto che quando questo avviene, le correnti secondarie al di fuori degli elettrodi hanno alla fine la stessa direzione della corrente secondaria nell'intervallo che è posto fra gli elettrodi. È probabile che usando correnti forti e prolungate, i prodotti dell'elettrolizzazione giungano fino a neutralizzarsi nel tratto fra gli elettrodi e anche sotto di essi in modo che l'eterogeneità maggiore sarebbe raccolta nei punti posti al di fuori, ad una certa distanza dagli elettrodi. Checchè ne sia di questa interpretazione, il fatto si verifica costantemente e per analogia doveva estendersi anche all'elettro-tone.

Ecco come l'esperienza ha verificato questa analogia. Disposta l'esperienza dell'elettro-tone sopra un nervo di pollo o di pecora, si usa una corrente molto intensa per svegliare i fenomeni. Si vedrà allora mantenendo il nervo umido e tenendo chiuso il circuito, l'ago del galvanometro fissarsi, poi discendere adagio adagio e indi passare nel quadrante opposto e rimanervi allora anche aperto il circuito della pila. Questa modificazione dell'elettro-tone riesce meglio usando di rivolgere verso il galvanometro l'elettrodo positivo della pila, piuttosto che il negativo come sappiamo per le polarità secondarie.

Bisognerebbe rinunciare a tutte le analogie su cui si fonda il metodo sperimentale, per non ammettere che anche l'elettro-tone debba essere considerato come una applicazione del principio delle polarità secondarie dei nervi. Malgrado ciò, noi vorremmo vedere intrapresi nuovi studi sopra questo argomento, non fosse altro che per giungere ad una spiegazione plausibile dell'essere i nervi dotati in così alto grado della proprietà di acquistare il potere elettro-motore secondario, e di non essere riesciti sin qui ad ottenere l'elettro-tone che sopra i nervi o sopra striscie di materia cerebrale.