

ISTITUTO DI MICROBIOLOGIA DELL'UNIVERSITÀ DI PAVIA
(*Direttore inc.*: Prof. L. Bianchi)

Dott. SALVATORE BELLINI

Ulteriori studi sui
"Batteri Magnetosensibili"

Dott. SALVATORE BELLINI

ULTERIORI STUDI SUI “BATTERI MAGNETOSENSIBILI”

Ad iniziare dal 1958 è stato osservato che alcuni batteri ascrivibili a varie classificazioni manifestavano la sorprendente caratteristica di dirigersi sempre verso il Polo Nord geomagnetico ancorché si facesse cambiare direzione al vetrino del preparato microscopico girando il piatto del microscopio. In un primo tempo si rimase dubbiosi, ma dopo avere promosso un sia pure grossolano piano di ricerca si fu costretti ad accettare quanto si era casualmente notato. Nonostante un giustificabile scetticismo furono organizzate nel nostro Istituto una serie di indagini scientifiche, in capo alle quali nel 1961 si fu in grado di dare conto dei risultati ottenuti con una prima relazione interna all'Istituto stesso.

MATERIALI E METODI

Si sono prelevati campioni di acqua dolce a differenti profondità mediante sufficientemente lunghe pipette, talora ricavate da tubi di vetro riscaldati al Becco di Bunsen ed allungati ad una estremità, oppure usando provette immerse nell'acqua con la massima cautela al fine di non mescolare gli strati e tenendone otturata l'imboccatura fino a raggiungere il livello prefissato. L'esperienza portò a stabilire che i livelli utili erano situati tra uno e sette centimetri dalla superficie in rapporto alla profondità dello specchio d'acqua preso in esame (sponda di laghi, lanche, paludi, stagni e pantani permanenti, fossati e così via) e comunque fino a raggiungere il limite tra l'acqua meglio ossigenata e quella a minore ossigenazione, come si poteva dedurre dal colore dei sedimenti, rugginosi quelli appartenenti agli strati ossidati, bruno scuro o grigi o neriastri quelli del livello ad ossigenazione ridotta. Anche in base a queste osservazioni empiriche si era rilevato che i batteri mostranti la sensibilità magnetica preferivano un ambiente se non del tutto anossico senza dubbio a molto bassa ossigenazione, la qual cosa concordava con il loro comportamento nel campo magnetico terrestre che li induce a dirigersi verso il

fondo del contenitore naturale (nel quale erano vissuti indisturbati e con un loro naturale avvicendamento generazionale) vale a dire dirigendosi verso i sedimenti, uniformandosi all'angolazione del campo magnetico della Terra e contemporaneamente allontanandosi da ambienti che per loro risultassero dannosi (fig. 1).

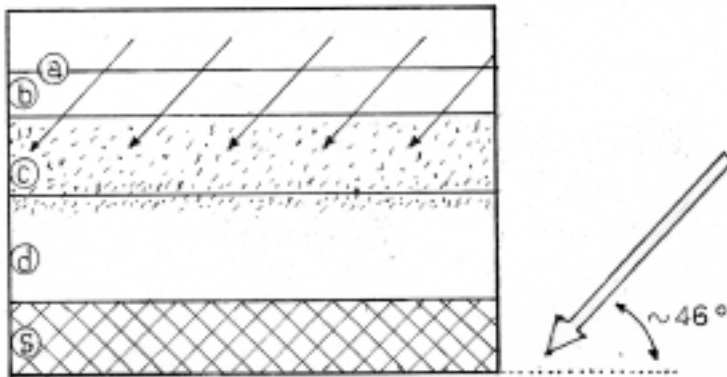


Fig. 1

a: superficie dello specchio d'acqua

b: fascia ossigenata

c: fascia di transizione da quella ossigenata alla ipoossigenata

d: fascia da ipoossigenata ad anossica

e: sedimento

→ direzione del movimento dei Batteri Magnetosensibili e del campo geomagnetico

(Per la piccola massa e la relativamente limitata velocità dei corpi in esame [i batteri] non si è tenuto conto della forza fittizia da "Effetto di Coriolis")

I campioni acquisiti, costituiti per un terzo e talora un quarto di componente solida cioè il sedimento, erano esaminati in parte entro 3 fino a 18 ore dopo il prelievamento ed in parte nei giorni successivi: essi erano posti in bêtute riempite alcune per metà altre per circa 4/5 oppure erano lasciati nei recipienti di prelievo chiusi con cotone idrofilo sterile o con tappi di gomma sterili ed erano conservati a temperatura ambiente negli armadietti o anche in termostato a 20 °C fino a 23 °C e ivi lasciati per periodi da una a più settimane in quest'ultimo caso non chiudendo ermeticamente le coperture dei contenitori e aggiungendo di tanto in tanto modesti volumi di acqua sterile; era importante che fossero mantenuti in luce attenuata. Per campioni di maggiore quantità si sono usati contenitori (pentole di pic-

cola capacità e sterilizzate) chiudendoli con i loro coperchi e in questi casi le bobine (delle quali si parlerà più avanti) erano costruite su tubi di materiale isolante, di quelli impiegati nell'edilizia o nei lavori stradali, di adeguato diametro, nonostante il problema della quantità di filo occorrente per il solenoide, in parte superato con la tecnica suggerita da Helmholtz. Erano anche usate Piastre di Petri vuote, sterilizzate e con una linea di riferimento sulla loro circonferenza nelle quali furono introdotti i campioni in esame da sottoporre ai campi magnetici.

La selezione dei Batteri Magnetosensibili era effettuata usando barrette magnetiche oppure elettromagneti: entro 25–70 minuti primi si accumulava una copiosa quantità di batteri in corrispondenza del Nord geomagnetico come confermava l'ago di una bussola posta parallelamente al magnete e a debita distanza.

Pipettando il materiale contenente i detti batteri così isolati li si immetteva in bète o in boccette sterili contenenti acqua dolce proveniente da fossati o da stagni e sottoposta a centrifugazione per separarne le parti solide: il supernatante veniva filtrato e sterilizzato. In modo simile era effettuato anche l'eventuale lavaggio dei microrganismi sotto esperimento.

Con un'altra modalità le colture erano effettuate lasciando il materiale a se stesso nei recipienti di raccolta mantenuti in termostato a temperatura tra 20°C e 23°C (in qualche caso si raggiunsero i 28°C: attenzione, già a 25°C l'Azoto reagisce col Litio!) con lo sportello trasparente per consentire una debole illuminazione e comunque riparando il materiale dalla luce diretta del Sole; durante il periodo estivo molto spesso non si fece ricorso all'uso del termostato, mantenendo il materiale raccolto in luogo appartato con luce attenuata.

Allo scopo di lasciare il sedimento e i campioni contenenti i batteri a completo riposo, per l'osservazione macroscopica diretta si sono usate provette anche di grande diametro poste in portaprovette provvisti di uno specchio inclinato a 45° con il quale era visualizzato tutto il contenuto sotto esame, in particolare sia il fondo con la massa solida, sia la zona anossica, sia quella relativamente più ossidata; al di fuori dei periodi di osservazione lo specchio era coperto da un cartoncino nero rimovibile per evitare il riverbero della luce.

La separazione dei Batteri Magnetosensibili nelle colture era ottenuta inizialmente con semplici apparecchiature: a) una barretta magnetica con al centro un perno di ottone (o di legno duro) per poterla ruotare (fig. 2 a-b) affinché presentasse alternativamente uno dei due poli al materiale in esame oppure potesse mutare il senso del campo magnetico qualora fosse posta parallelamente al preparato microscopico; b) un elettromagnete costruito con una bobina avvolta su un nucleo di ferro dolce e collegata a uno dei vari trasformatori più avanti menzionati la cui corrente, raddrizzata, poteva essere invertita da un deviatore meccanico o a relè.

Il metodo più elegante di separazione (e di arricchimento) dei Batteri Magnetosensibili consistette nel costruire avvolgimenti in filo di rame smaltato, o ricoperto da altro materiale isolante, su un pezzo di tubo di bachelite del diametro interno di 26 millimetri in modo che un vetrino portaoggetti da microscopio potesse rimanere sospeso al suo interno; in alternativa il sostegno per il vetrino poteva

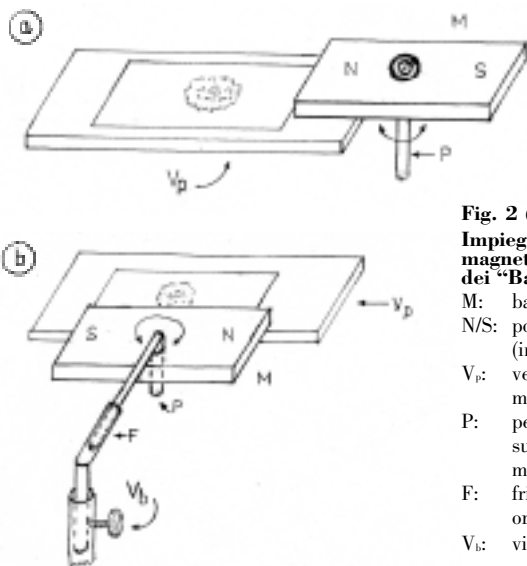


Fig. 2 (a/b)
Impiego di piccole barre magnetiche per lo studio dei "Batteri Magnetosensibili":

- M: barretta magnetica
- N/S: polarità del magnete (invertibile)
- V_p: vetrino con il preparato microscopico
- P: perno in ottone o legno duro sul quale è montata la barretta magnetica
- F: frizione per lo spostamento orizzontale
- V_b: vite di blocco dello spostamento verticale

essere realizzato con la metà di un tubo di bachelite del diametro esterno di 25 millimetri circa, tagliato con un seghetto longitudinalmente e fissato con mastice all'interno del tubo che portava l'avvolgimento. La bobina era costruita con spire ravvicinate ed era collegata ad un trasformatore-reòstato di quelli usati per trenini elettrici in miniatura con uscita a corrente continua ben filtrata, (da 1 a 12 V./max 1,5 A.), che consentiva l'inversione di polarità onde ottenere l'inversione del flusso magnetico: la direzione Nord - Sud era verificata con una bussola posta ad adeguata distanza (figg. 3 e 4). Nel tentativo di definire il più utile voltaggio e il più utile amperaggio nonché di osservare il comportamento dei batteri in campi magnetici di differenti caratteristiche, furono allestite elettrocalamite alimentate fino a 850 V./1 A. in corrente continua e fu valutato il comportamento dei Batteri Magnetosensibili alle differenti potenze, giungendo ai risultati descritti in un precedente contributo (*). Alla fine si scelsero i valori di basso voltaggio sopra riferiti anche per salvaguardare l'in-

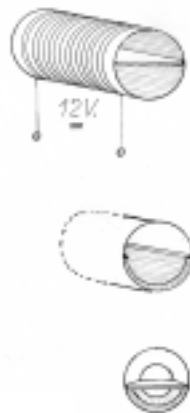


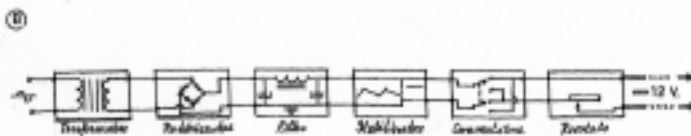
Fig. 3



Fig. 4

A) Disegno di un modello di alimentatore per trenini elettrici in miniatura

B) Schema a blocchi di un alimentatore elettrico con stabilizzatore: uscita di 12 Volts a 1,5 Ampère



columità dello sperimentatore, avendo constatato che a quei bassi voltaggi tutti i risultati sperimentali erano sovrapponibili, in pratica equivalenti. In sostituzione del tubo di bachelite ne fu usato uno di vetro nel proposito di seguire il procedimento della migrazione della colonia batterica in osservazione.

Con un'altra metodica si fece uso di Bobine di Helmholtz costituite da filo sottile e appiattito con un martello o con altro idoneo attrezzo, avvolte sia su tubo sia sul medesimo vetrino da microscopio in quest'ultimo caso realizzando i due avvolgimenti uno per ciascuno dei lati minori, posti alla distanza pari al diametro delle bobine e collegandoli tra loro (fig. 5 a-b).



Fig.5 - Disegni illustrativi di bobine di Helmholtz impiegate negli esperimenti.

La coppia di bobine ideata da Helmholtz permette di ottenere campi magnetici uniformi come fossero un unico avvolgimento di lunghezza pari a venti volte il suo diametro e oltre, capace di produrre un'intensità di campo magnetico uniforme simile a quello di una bobina di lunghezza infinita.

Si otteneva l'arricchimento delle colture replicando le metodologie descritte ove esse risultassero proficuamente giustificate, se del caso aggiungendo nel terreno, dopo averli sterilizzati, talora un sale di Ferro e talaltra incorporandovi tracce di ruggine ($2 [Fe_2 O_3 \cdot nH_2O]$) pulverulenta o quella friabile finemente polve-

rizzata; il medesimo procedimento era seguito al fine di ripristinare la magnetosensibilità dei ceppi eventualmente attenuata dalla coltura su terreni privi di composti metallici.

Separati i Batteri Magnetosensibili si procedeva al loro successivo trattamento coltivandoli in vaschette rettangolari di vetro o in Piastre di Petri su terreno preferibilmente semisolido e standard per ciascun tipo di microorganismo, cui erano talora aggiunti sali di Ferro, oppure su terreno di coltura preparato con assenza di sali di Ferro. La crescita delle colonie in terreno semisolido era normale e tuttavia esse si ammassavano verso il lato della Piastra di Petri, o della vaschetta, rivolto al Nord geomagnetico anche quando veniva invertita o comunque mutata la posizione del contenitore, ma se il terreno di coltura era solido modificando l'orientamento dei contenitori non si notavano significative variazioni dell'ubicazione delle colonie di germi durante i tempi relativamente brevi di osservazione. L'esame di dette colture non è stato protratto oltre un predefinito periodo temporale perché i risultati si ritennero ininfluenti ai fini della ricerca; nondimeno in alcuni contenitori trascurati dopo la fine della sperimentazione si è notato a distanza di qualche settimana che le colonie di Batteri Magnetosensibili si erano espanse verso il Nord geomagnetico anche in terreno solido.

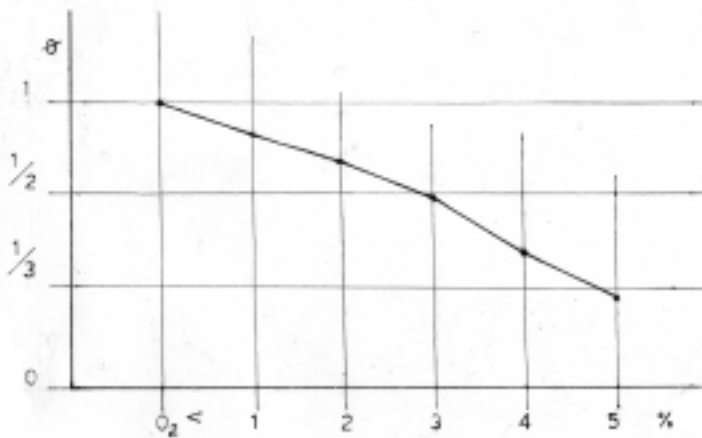


Fig. 6 - Curva di crescita, espressa in diametri delle colonie batteriche, in rapporto (inverso) alla concentrazione percentuale di O₂ nell'aria ambiente: al crescere della percentuale di O₂ si osserva la diminuzione dello sviluppo delle colonie batteriche. *I valori riportati sono arbitrari, anche se fanno riferimento a quelli reali: il grafico ha l'unico scopo di rendere visivo e di intuitiva comprensione il fenomeno.*

Alcune colture, eseguite in parallelo ed allestite in bète, erano le une arricchite di Ossigeno le altre arricchite di Azoto secondo quantità scalari allo scopo di verificare nell'ambiente confinato la percentuale di ciascuno dei due gas che risultasse ottimale per lo sviluppo delle colonie (fig. 6).

Per l'impovertimento dell'aria e quindi dell'Ossigeno nei contenitori era impiegato, se praticabile per le loro dimensioni, il semplice metodo del riscaldamento fino ad un massimo di 28°C chiudendo a caldo il recipiente con tappi sterili a buona tenuta e sigillati con paraffina. Un altro modo fu quello di collegare le bète ad una pompa che estraesse una parte dell'aria immettendo poi in sua vece l'Azoto gassoso. Ultimamente fu semplicemente introdotta con cautela una calcolata quantità di Azoto gassoso sul fondo dei recipienti in prossimità dei sedimenti senza preventivamente estrarre l'aria e non si rilevarono importanti discordanze rispetto ai risultati ottenuti con i mezzi sopra esposti.

Un ulteriore esperimento è consistito nell'impiegare due vetrini portaoggetti sovrapposti: in quello superiore era ritagliata una finestra per creare una microcamera rettangolare di 3x36 millimetri e lo si fissava al vetrino inferiore con mastice impermeabile, sterilizzando infine il tutto (fig. 7).

Nella microcamera così ricavata era posto un velo di acqua sterile ed al centro una goccia di materiale contenente i Batteri Magnetosensibili. Si ricopriva il tutto con un vetrino coprioggetto di 24x50 millimetri lasciando aperta una unica fessura della microcamera per consentire l'introduzione di Ossigeno oppure di Azoto nello spazio del menisco che si era formato: si immetteva il gas mediante un'apparecchiatura come quelle usate per somministrare ossigeno agli ammalati di asma ed infine si faceva slittare il vetrino coprioggetto sulla finestra del vetrino portaoggetti preventivamente unto con glicerina al fine di conte-

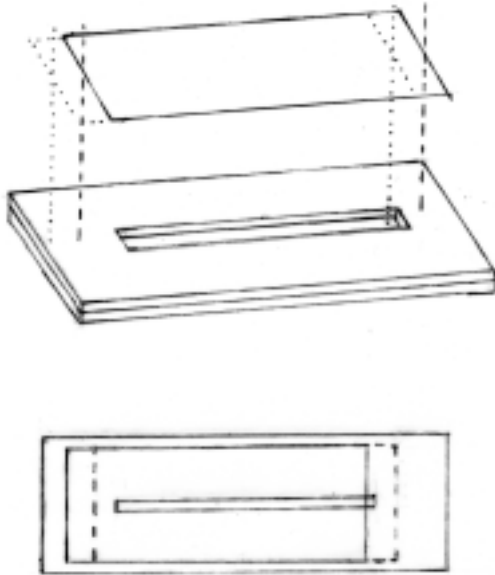


Fig. 7 - Disegno delle microcamere impiegate

nere per la relativamente breve durata dell'esperimento il gas introdotto, ricorrendo all'ausilio delle mollette situate sul piatto del microscopio per aumentare in tal modo l'aderenza del coprioggetti. Si mettevano in atto due sperimentazioni: con la prima non si poneva il vetrino in un campo magnetico prodotto localmente, cioè lo si lasciava nell'ambiente naturale; con la seconda si creava un campo magnetico locale mediante un magnete o un elettromagnete. Nel primo caso i Batteri Magnetosensibili introdotti nella camera del vetrino assumevano velocità di spostamento appena evidente per allontanarsi dalla bolla di Ossigeno; nel secondo caso i batteri se ne allontanavano con maggiore velocità, variabile a seconda dell'orientamento dei Poli del magnete in relazione al campo geomagnetico naturale. In un ulteriore test si introduceva solamente Azoto gassoso dalla medesima fessura e si osservava un lento movimento dei batteri verso la bolla di Azoto tuttavia non molto palese e quindi non convincente, ma se questo gas era introdotto nella fessura dopo il saggio fatto con l'Ossigeno in pratica sostituendolo, allora i Batteri Magnetosensibili ritornavano alla posizione di partenza, addirittura oltrepassandola. Si ripeteva l'esperimento usando un coprioggetti di 24x32 millimetri affinché rimanessero due fessure ciascuna ai due estremi della microcamera e ponendo una goccia di coltura batterica praticamente di una singola specie magnetosensibile, cocchi o bacilli oppure spirilli, al centro della microcamera. Mentre i cocchi sembrava preferissero spostarsi in un unico senso, bacilli e spirilli venivano rintracciati verso le due estremità della microcamera e ciò suggerisce che essi siano in grado di spostarsi sia nell'uno sia nell'altro senso lungo la direzione del campo magnetico alla ricerca di un ambiente confacente alle loro necessità biologiche.

I microorganismi magneto-indifferenti, cioè quelli dei medesimi campioni sottoposti ai campi magnetici che non avevano mostrato il fenomeno dell'orientamento verso il Nord geomagnetico e quindi non avevano evidenziato migrazione alcuna, erano coltivati, per i test di confronto, in terreni di coltura (talora privi di Ferro) identici a quelli usati per i Batteri Magnetosensibili; anche ad occhio nudo si rilevavano le differenze tra le due colture di batteri per via della colorazione delle colonie, che erano grigio-nerastre per gli organismi magnetosensibili, mentre erano di un delicato colore giallo-rosato per le altre. In ogni caso che si ritenesse utile o necessario, si usava una soluzione di NaOH oppure di Acido Citrico per correggere il pH del terreno di coltura e portarlo vicino alla neutralità.

La camera per lo studio del materiale biologico in strato spesso era costituita da due vetrini portaoggetti sovrapposti e nel superiore, verso l'obiettivo del microscopio, era ritagliato uno spazio circolare di 10–15 millimetri di diametro; esso era fissato al vetrino inferiore con mastice o con Balsamo del Canada fatto essiccare nell'ambiente naturale. La camera così ottenuta veniva chiusa con un vetrino coprioggetti usato come supporto del materiale in esame. Un secondo metodo consistette nell'incollare su un vetrino portaoggetti rondelle di adeguato diametro e non di metallo, di quelle usate dagli idraulici o quelle delle guarnizioni di tappi di bottigliette, sovrapposte fino a raggiungere lo spessore desiderato, dai 3 millimetri ai 12 millimetri, sterilizzate e chiuse con vetrino coprioggetti, allo scopo di stu-

diare il materiale biologico in goccia pendente, particolarmente se in campo oscuro. Le rondelle furono altresì ricavate affettando tubi di gomma riempiti di parafina che poi veniva eliminata. Per l'osservazione furono usati vari ingrandimenti(*).

Lo studio in campo oscuro era realizzato avvicinando il condensatore del microscopio al vetrino, aprendo al massimo il diaframma ed inserendo un dischetto opaco al centro del condensatore; la fonte luminosa doveva essere molto intensa ma non tanto da danneggiare il preparato in esame, precauzione necessaria quando si studiano cellule viventi.

Alla colorazione i Batteri Magnetosensibili erano Gram-negativi, tuttavia un primo esame orientativo veniva eseguito usando una semplice colorazione con il Blu di Metilene.

CONCLUSIONI

In un precedente contributo (*), che deve essere considerato una "nota preventiva", era stata indicata la possibilità che esistano in natura batteri in grado di orientarsi seguendo le linee del campo geomagnetico terrestre. Il presente studio ha verificato con varie metodologie che esiste realmente in natura questa particolarità apparentemente legata ad una sorta di bussola biologica posta all'interno del corpo batterico e posseduta da vari microorganismi: spirilli, cocchi, bacilli.

Applicando ai ceppi batterici campi magnetici alternativamente opposti sia ruotando una barretta magnetica munita di un perno centrale, sia invertendo il senso della corrente nelle elettrocalamite, si è potuto fare mutare il loro senso di movimento, per cui appare sempre più verosimile che nell'emisfero Sud del nostro Pianeta essi si dirigano verso il Polo meridionale. Tuttavia col metodo della microcamera, costruita con vetrini da microscopio ai cui due lati più corti erano lasciate due fessure, una per ciascun lato, si è appurato che in alcuni casi i bacilli e gli spirilli, ma non i cocchi, si dividevano tra le due estremità verso le dette fessure, fintanto attraverso di esse non si fosse introdotto dell'Ossigeno, secondo la metodica descritta, che respingeva i batteri verso il centro della microcamera, dove la percentuale di Ossigeno era senza dubbio inferiore.

Batteri uccisi con il calore se sottoposti a campi magnetici ruotavano su se stessi senza mostrare alcun movimento di traslazione. Si è supposto che l'ipotizzata bussola magnetica sia legata all'esistenza nel corpo cellulare di composti del Ferro e che il batterio faccia anche uso di modalità chimiche di orientamento forse al fine di sottrarsi a concentrazioni di elementi chimici per lui nocive. Suggestiva la ricorrente presenza del Ferro nell'ambiente ossigenato, il che ha suggerito l'uso della ruggine nella sperimentazione. Si tratterebbe dunque di un doppio modo di indirizzarsi verso una nicchia proficua per la propria sopravvivenza e moltiplicazione nella quale indovarsi.

Sarebbe appagante controllare il comportamento dei batteri all'Equatore o ai Poli anche per riscontrare la veridicità scientifica delle ipotesi fin qui formulate e che si basano su deduzioni suggerite dai risultati della ricerca. Uno studio al

microscopio elettronico dei ceppi batterici qui indagati potrebbe forse dare risposta a molte delle supposizioni avanzate.

DISCUSSIONE

Non appare superfluo, al fine della migliore comprensione dei fenomeni indagati, accennare ad alcuni aspetti del magnetismo. Ogni oggetto magnetico possiede delle linee di forza che corrono simmetricamente tra due opposti Poli, tuttavia in scala galattica la simmetria si altera per l'intervento di altri fenomeni, per primo il vento solare. E' ampiamente risaputo che i Pianeti del Sistema Solare, ad esclusione di Venere e forse Mercurio, sono dei magneti e in particolare il Pianeta Terra, che ci interessa da vicino, è un magnete a causa degli spostamenti di cariche negli strati interni: secondo recenti ipotesi i Protoni e gli Elettroni muovendosi con differenti modalità e velocità genererebbero una corrente rotante che produce il campo magnetico il quale, aggiungendosi alla forza di gravità, avrebbe molta importanza sia per la formazione dei materiali, sia per la loro evoluzione .

Il campo magnetico terrestre è rilevabile su tutto il Pianeta e le sue linee di flusso si dirigono dal Polo Sud verso il Polo Nord. Tuttavia i Poli geografici non coincidono esattamente con quelli magnetici, i quali nel corso delle "Epoche Geologiche" sono giunti fino all'inversione, cioè il Polo Nord è diventato Sud e viceversa, la qual cosa si verificherebbe in media ogni mezzo milione dei nostri anni per l'andamento a lunga durata. A tutt'oggi è oggetto di congetture la causa di dette periodiche inversioni nonché di quelle a breve durata (denominate "Eventi Magnetici"), documentate dai reperti paleontologici.

Alcuni materiali, in particolare il Ferro, se introdotti in un campo magnetico si magnetizzano perché i loro atomi si comporterebbero come spire percorse da corrente, allineandosi in una medesima direzione: il rapporto tra l'intensità del campo magnetico in presenza dei materiali ed in loro assenza è detto "permeabilità magnetica" ed il grado di magnetizzazione è espresso dalla grandezza μ' caratteristica per ogni metallo. Per il Ferro la permeabilità magnetica è sempre maggiore dell'unità e può giungere a valori molto elevati pur se non costanti perché aumenta in proporzione diretta al campo magnetico esterno, fino al valore massimo dovuto all'allineamento totale degli atomi: la sua permeabilità relativa è pari a 5000 μ , ma può arrivare a tassi più elevati per leghe speciali. La magnetizzazione può perdurare molto a lungo come nei "Magneti Permanenti" oppure per breve periodo temporale.

La relazione tra elettricità e magnetismo è sperimentalmente evidenziabile avvolgendo un conduttore a spirale continua (solenoidale) usualmente, ma non obbligatoriamente, di forma cilindrica entro cui è introdotto un vetrino da microscopio o un cartoncino bianco impolverato con limatura di Ferro la quale al passaggio della corrente elettrica nel solenoide si dispone lungo le linee di flusso del campo magnetico che così si visualizza e la cui intensità è in rapporto diretto con il numero delle spire, la loro più o meno fitta contiguità e il diametro del solenoide; il campo elettromagnetico è un complesso interdipendente la cui distinzione è

possibile solamente in assenza di cariche elettriche in movimento.

Per quanto qui sopra detto appare lecito porsi la domanda se il movimento dei Batteri Magnetosensibili generi energia direttamente proporzionale all'entità di variazione del flusso ed inversamente proporzionale al tempo di variazione considerato in relazione con elementi, sostanze minerali oppure entità biologiche, che possano essere funzionalmente identificati con le spire di un solenoide, o comunque con strutture capaci di trasformare il lavoro (movimento del microorganismo) in forze elettriche (o elettromotrici) secondo il principio dell'induzione: ovviamente il fenomeno e i suoi valori non possono essere valutabili per un singolo batterio, ma potrebbero diventare di entità calcolabile per una cospicua pluralità di cellule batteriche.

Questo aspetto appare importante per l'assetto ecologico e biologico del nostro Pianeta, particolarmente se pensiamo i microbi in qualità di oggetti cosmici inseriti in una ininterrotta catena che congiunge il mondo inorganico (minerali isolati o inseriti in composti che i batteri assimilano provvedendo a coniugare gli uni in molecole più complesse oppure a scindere gli altri in molecole elementari o ancora a rilasciarli nell'ambiente al termine del loro ciclo vitale così come sono), a quello dei vegetali e al mondo animale.

Non è esaurientemente chiarito se i Batteri Magnetosensibili si dirigano verso il Polo Nord (e presumibilmente verso il Polo Sud nell'emisfero australe) per esclusivo orientamento magnetico oppure anche per fattori di ordine chimico come la ricerca di siti con basso contenuto di Ossigeno o addirittura anossici, ubbidendo quindi al criterio della concentrazione per loro soddisfacente di questo elemento, come se essi siano in grado di saggiare e valutare la quantità relativa di Ossigeno nell'ambiente. Appare quindi opportuno approfondire in qual modo e se i Batteri Magnetosensibili, e non solamente loro, soggiacciono a un procedimento unicamente meccanico e se vogliamo istintivo o elaborino dinamicamente le risapute indicazioni fornite dal campo geomagnetico e quelle meno note degli ambienti chimici nei quali vengono a trovarsi e se il loro "affondamento" verso il limo sia la risposta solamente ai due stimoli qui elencati o se mascherino altre esigenze e altri significati che allo stato attuale delle nostre conoscenze ci sfuggono. Sta di fatto che la magnetosensibilità e la concomitante concentrazione dell'Ossigeno nell'ambiente appaiono per il momento i fattori unitamente determinanti che indirizzano alla ricerca della nicchia ottimale per la vita, la crescita e la moltiplicazione dei Batteri Magnetosensibili i quali a questo scopo migrano verosimilmente utilizzando, come già detto ma è bene ripetere, simultaneamente procedimenti magnetici e chimici; deve essere del pari definitivamente accertato se e come essi assemblino il materiale esistente in un ambiente confinato, in questo caso i recipienti di laboratorio, per la costruzione della "bussola" interna solamente quando la concentrazione dell'Ossigeno non superi una percentuale che è stata stabilita sostituendo all'aria, nota nella sua composizione, volumi via via crescenti sia di Ossigeno sia di Azoto secondo il principio della doppia sperimentazione. In concreto si è notato che, in terreni di coltura semisolidi mantenuti in ambiente confi-

nato e contenenti la medesima quantità di composti di Ferro, al diminuire della percentuale di Ossigeno o all'aumentare di quella di Azoto i batteri riguadagnavano a mano a mano la magnetizzazione che avevano perduto se erano stati coltivati in terreni privi di composti metallici magnetizzabili.

In natura potrebbe essere possibile il verificarsi di un circolo virtuoso per il quale in un determinato sito alcuni fattori, tra cui in particolare i composti di Ferro liberati dai batteri venuti a morte, possano formare aree ambientali in cui i microorganismi sopravvissuti o sopraggiunti siano in grado di rinvenire il materiale sia per crescere sia per costruire la propria bussola. Alla fin fine appare logico sostenere che la fabbricazione della ipotizzata bussola interna dei Batteri Magnetosensibili sia un'operazione biologica perfettamente organizzata e controllata in ogni suo aspetto e in ogni passaggio, vale a dire sia nella composizione, sia nella produzione, sia nella quantità ottimale, sia nell'allocazione all'interno della cellula batterica; se essa è condizionata dalla presenza di minerali e segnatamente il Ferro, depositi di tali sostanze dovrebbero essere rintracciati là dove, presumibilmente i sedimenti, il corpo batterico è precipitato nel dissolversi. Di fatto i Batteri Magnetosensibili si reperiscono in masse d'acqua con strati sovrapposti, seppure non rigorosamente distinti, di differente composizione chimica e con separazione tra strato superficiale più ossidato e strati inferiori gradatamente meno ossidati fino a quello anossico appena al di sopra del quale essi si indovano, nonostante non sia difficile trovarne anche nella zona anossica; gli strati di migliore reperimento sono quelli a relativamente maggiore, ma sempre bassa, concentrazione di Ossigeno con particelle solide dal colore bruno-rossastro. Resta da stabilire se i Batteri Magnetosensibili nascano già magnetici oppure solamente predisposti alla magnetizzazione e si magnetizzano successivamente ad opera dei vari fattori nutrizionali ed ambientali esistenti nel sito dove i progenitori si erano collocati, se del caso migrando, prima di dare vita alla nuova generazione.

Quest'ultima ipotesi comporta la possibilità che altri ceppi batterici possano essere magnetosensibili ed altri ancora - oltre a questi individuati, studiati e resi noti - possano acquisire la magnetosensibilità sia pure transitoriamente per scopi o per motivi che, qualora le supposizioni espresse fossero confermate, dovranno essere indagati.

(*) *Bellini, S. – Su di un particolare comportamento di batteri d'acqua dolce, (1963) Istituto di Microbiologia, Università di Pavia*

[Un grazie al Maestro vetraio della Ditta Spelta di Pavia per la pazienza dimostrata, unita all'abilità nella realizzazione delle microcamere]

RIASSUNTO

In questa ulteriore pubblicazione l'Autore illustra materiali e metodi con i quali ha condotto le indagini sui Batteri Magnetosensibili, esponendo infine i risultati cui è pervenuto. Segue un'ampia discussione.

SUMMARY

In this further investigation the Author expose the materials and methods of study on Magnetosensitive Bacteria and argue the results. A large discussion winds up the study.

RESUME'

Avec cette ultérieure publication l'Auteur présente les matériaux et les méthodes de sa experimentation sur les Bactéries Magnétosensibles et en traite les résultats.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei diesem weiter Veröffentlichung der Autor dargelet Materialien und Methoden von Studie über Magnetischen empfindlichen Bakterien: schliesslich die Resultate sind erörterten.