

FENOMENI ELETTRICI ATMOSFERICI, CAMPI ELETTROMAGNETICI E CUTE

1. La carica elettrica dell'atmosfera e il "condensatore atmosferico"

L'atmosfera è l'involucro prevalentemente gassoso che circonda la terra e si muove con essa nello spazio. Essa è costituita da quella miscela di gas che è l'aria, da acqua allo stato di vapore e da particelle solide e liquide di varia natura denominate **aereosol**.

Fin dall'antichità questa invisibile miscela di gas è stata per il genere umano oggetto di grande curiosità e sicuramente era stata intuita l'importanza dell'atmosfera per tutte le specie viventi. Pensiamo all'organismo umano: esso è in continuo rapporto di scambio con l'aria attraverso le due superfici cutanea e respiratoria. Mediante quest'ultima l'uomo ricambia giornalmente dai 10 ai 15 m³ di aria, cosa questa che consente di valutare la capacità respiratoria non solo come una funzione metabolica, ma anche sotto il profilo della relazione con il mondo esterno e della sua esplorazione. Lo sviluppo della fisica del XVIII secolo ha imposto una visione scientifica (cioè basata sull'esperienza e sul criterio della riproducibilità), sulla preesistente visione poetica e soggettiva, ed ha fornito i primi strumenti metodologici per lo studio dell'atmosfera.

In prossimità del suolo l'atmosfera è essenzialmente costituita per i suoi 4/5 da azoto, da 1/5 di ossigeno, da qualche gas raro e – salvo situazioni particolari – dallo 0,01- 0,1% di anidride carbonica; inoltre da una notevole quantità di vapor acqueo e da numerose sostanze in tracce. Da un punto di vista meccanico l'aria rappresenta un supporto per una certa quantità di particelle solide e liquide in sospensione, i summenzionati aereosol. Si tratta di polveri minerali, organiche, vegetali, goccioline d'acqua, parassiti, batteri, virus, ecc.. Oltre gli aereosol vanno oggi considerati gli inquinamenti chimici prodotti dalle emissioni industriali contenenti ossidi di zolfo, ossido di carbonio, ossidi di azoto ed idrocarburi.

Se consideriamo l'assorbimento della radiazione solare dell'atmosfera, è possibile identificare una particolare regione, detta **ionosfera**, compresa tra i 40-80 km e i 400 km di altezza, caratterizzata dalla presenza di gas le cui molecole, assorbendo la radiazione solare, acquistano o cedono cariche elettriche producendo ioni positivi ed elettroni liberi: il risultato finale di questo processo si traduce nel fatto che la ionosfera presenta un eccesso di carica (Q) positiva. E' interessante notare che la carica elettrica presente in questa regione, una cui parte è nota come *fasce di Van Allen*, si comporta rispetto alle onde elettromagnetiche che la raggiungono dalla Terra come uno specchio riflettente: una parte delle onde viene riflessa verso il suolo. Decisamente fortunato quindi, oltre che molto determinato, fu Guglielmo Marconi nell'insistere con i suoi esperimenti di trasmissione radio a grandissima distanza; partito dall'Elettra il segnale non sarebbe mai arrivato in Australia e si sarebbe disperso nello spazio

se non fossero esistite le fasce di Van Allen, che all'epoca non erano ancora state scoperte.

La **superficie della terra** presenta invece normalmente una carica elettrica negativa; quest'ultima però, può subire delle apprezzabili variazioni e, in condizioni particolari, rappresentare una carica di segno opposto.

Considerando il suolo come confine inferiore dell'atmosfera, è possibile esaminare le conseguenze della presenza di una carica elettrica sulla superficie della terra. L'esistenza di uno strato di atmosfera fortemente conduttivo ci permette di immaginare che la terra e la ionosfera costituiscono un **condensatore**¹ a facce sferiche (Fig.19), il cui dielettrico è rappresentato dall'aria e le cui armature sono rappresentate rispettivamente dalla superficie del globo (negativa), e dalla ionosfera (positiva).

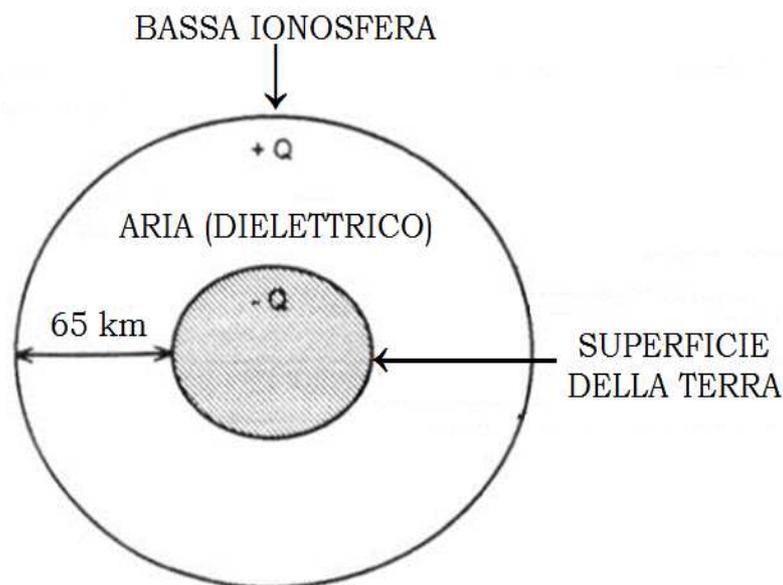


Fig. 19: La Terra e la ionosfera possono essere assimilate ad un condensatore a facce sferiche

I componenti dell'aria, le particelle in sospensione e gli inquinanti chimici gassosi, sono generalmente non carichi elettricamente e anche se in una piccola parte dell'atmosfera possono avvenire scambi di cariche elettriche questo non implica che, preso nel suo insieme, il volume globale dell'atmosfera sia in stato di equilibrio elettrico. All'interno del descritto condensatore, il cui dielettrico è

¹ Il condensatore è un sistema costituito da due corpi conduttori (armature del condensatore) separati da materiale isolante (dielettrico). In un condensatore sferico le armature sono costituite da due sfere concentriche. Durante la carica un condensatore assume una carica di energia che viene restituita durante la scarica.

rappresentato dall'aria, è presente il **campo elettrico atmosferico**². Generalmente l'intensità del campo elettrico atmosferico in prossimità della superficie della terra varia nell'intervallo tra 80 e 150 V/m.

Benché l'aria nella sua totalità sia elettricamente neutra questo equilibrio può essere alterato, localmente e transitoriamente, dall'azione di agenti ionizzanti di natura corpuscolare ed elettromagnetica, i quali generano una carica elettrica spaziale nell'atmosfera.

La **radioattività naturale** rappresenta la sorgente principale di ionizzazione dell'aria in prossimità della superficie terrestre. I portatori di questa carica spaziale sono i componenti della miscela gassosa stessa (cioè l'azoto, l'ossigeno, l'anidride carbonica, ecc.) caricati elettricamente e denominati **piccoli ioni**, nonché le particelle di aerosol cariche sospese nell'atmosfera denominate, a seconda delle dimensioni, **ioni intermedi e grandi**.

A causa del campo elettrico queste particelle si spostano in base alla polarità verso o in direzione opposta alla superficie della terra; ciò produce un flusso di corrente, detto di "aria terra", tale che in meno di 30 minuti ci si dovrebbe aspettare la scomparsa del campo elettrico. In realtà ciò non si verifica.

2. Il mantenimento del campo elettrico atmosferico come sistema di regolazione

I meccanismi (Fig.20) che riguardano il processo di neutralizzazione e rigenerazione del campo elettrico consistono: nel normale debole flusso di corrente aria-terra di lunga durata già menzionato, e in brevi e occasionali periodi di inversione del campo con flusso di corrente terra-aria più intenso (dovuti alle precipitazioni atmosferiche come piogge, temporali, nevicate, ecc.).

L'attività temporalesca rappresenta il più importante dei processi che contribuiscono a conservare il campo elettrico atmosferico: in ogni momento su tutto il mondo sono in corso tra i 2000 e i 5000 temporali che a loro volta producono ogni secondo centinaia di fulmini diretti al suolo. Ogni fulmine trasporta all'incirca 20 coulomb di carica, il che determina una corrente di ricarica terra-aria intorno ai 1000-2000 A, molto più intensa della normale corrente aria-terra che si ha in condizioni di bel tempo.

Anche la pioggia rappresenta l'equivalente di una corrente elettrica verticale; se le gocce sono cariche positivamente la corrente è considerata come orientata dall'atmosfera verso la terra (aria-terra). Se invece esse sono cariche

² Il campo elettrico è la regione di spazio in cui si risente l'effetto di una forza di tipo elettrico, dovuta alla presenza di corpi elettricamente carichi. Il campo elettrico si misura in volt per metro; il volt è l'unità di misura del potenziale elettrico.

negativamente possono essere assimilate ad una corrente diretta dalla terra all'atmosfera (terra-aria).

Uno dei maggiori limiti nello studio dei fenomeni elettrici atmosferici è dovuto al fatto che in passato l'indagine sullo stato elettrico dell'atmosfera si è sviluppata partendo dal concetto di "bel tempo". Tutti i fenomeni elettrici sono stati riferiti a condizioni meteorologiche normali, mentre eventi come pioggia, temporali, neve, ecc., sono stati considerati quali perturbazioni di questo stato di equilibrio.

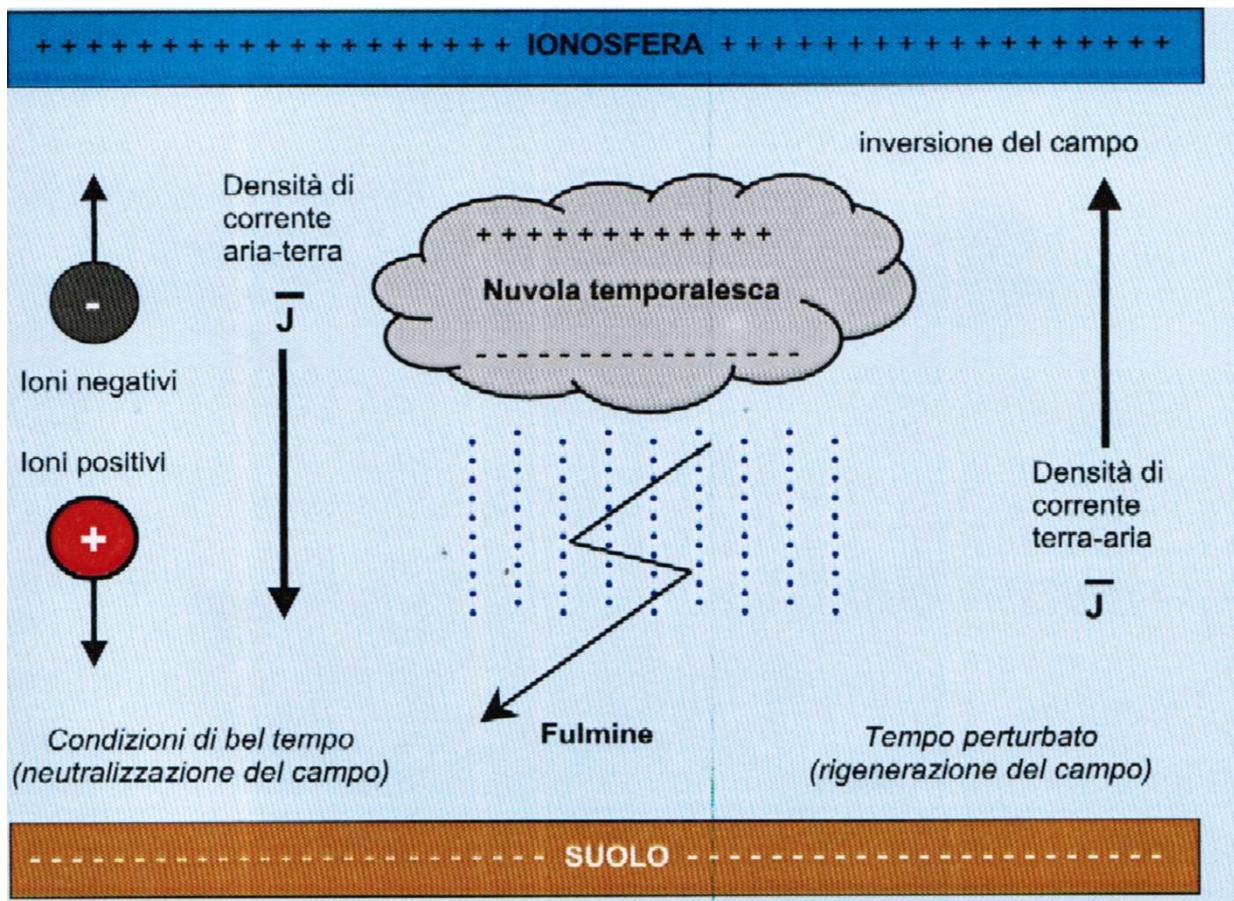


Fig. 20: Processo di mantenimento del campo elettrico atmosferico

Questa interpretazione dei fatti (rigidamente legata ad un modello semplicistico di tipo causa-effetto) esprime una rappresentazione grossolana della realtà; infatti, solo per fornire un esempio, sono proprio le manifestazioni temporalesche che permettono il mantenimento della carica spaziale presente nell'aria e del campo elettrico atmosferico. Si perviene così al paradosso per cui lo stato di equilibrio o "bel tempo" non sussisterebbe senza l'esistenza di quegli elementi che lo perturbano.

È possibile, mediante la cibernetica, svolgere una analisi qualitativa dei fenomeni elettrici atmosferici con uno schema "a blocchi" di un circuito di regolazione: si

può immaginare un sistema dotato di retroazione la cui finalità è mantenere costante, entro un intervallo di valori, l'intensità del campo elettrico atmosferico.

Nella Fig. 21 il condensatore ionosfera-terra di capacità C , inizialmente carico, presenta ai suoi capi una differenza di potenziale $V_c(t)$ proporzionale al campo elettrico atmosferico; il condensatore tende a scaricarsi tramite una debole corrente aria-terra, per cui diminuiscono la differenza di potenziale ai suoi capi e il campo elettrico presente fra le sue armature. Il comparatore confronta il segnale in uscita, $V_c(t)$, che gli viene inviato per retroazione, con quello di riferimento³, V_{REF} . L'attività temporalesca – l'organo regolatore – funziona come un generatore di tensione che ricarica periodicamente il condensatore contrastando il processo di scarica. Con questa dinamica si può mantenere entro fissati valori la tensione V_c , cioè la differenza di potenziale ionosfera-terra, e quindi il campo elettrico presente nello spazio fra le armature, vale a dire il campo elettrico terrestre.

Una descrizione più dettagliata – mediante i circuiti elettrici equivalenti ai blocchi – è riportata nella Fig. 22.

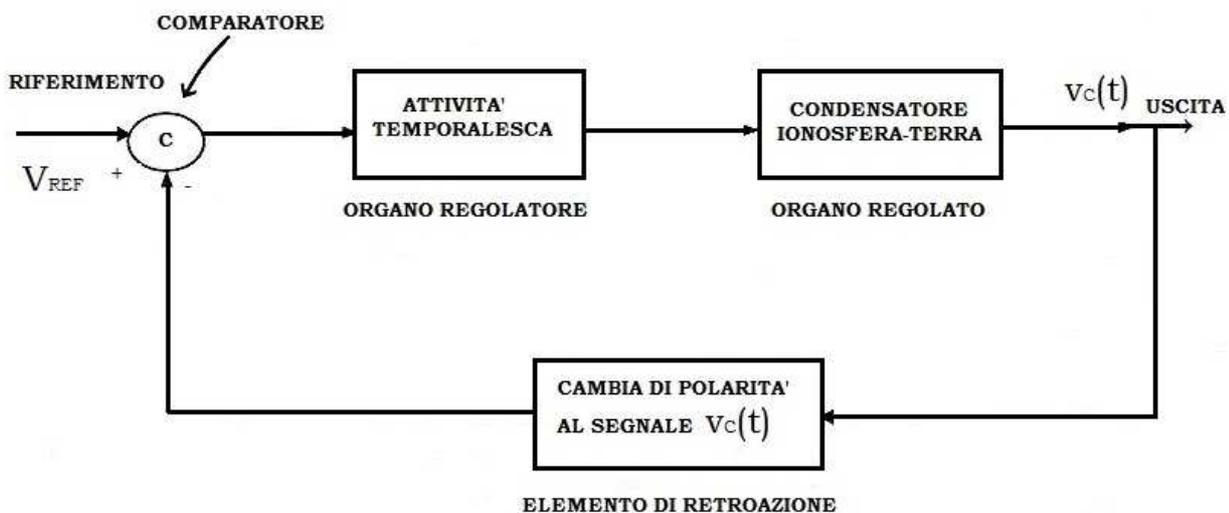


Fig. 21: Schema a blocchi del sistema di controllo che, basato sulla retroazione negativa, mantiene costante il campo elettrico atmosferico.

Il collegamento di retroazione rileva il valore della tensione ai capi del condensatore (l'organo controllato) e lo riporta in ingresso al comparatore. Il comparatore confronta la differenza di potenziale $V_c(t)$ proveniente dal circuito di retroazione con l'emettitore del valore nominale di questa unità di regolazione, la tensione di riferimento V_{REF} . V_0 è la tensione che, simulando l'attività temporalesca, ricarica il condensatore ionosfera – terra e $i_2(t)$ è la corrente di

³ L'origine della carica elettrica sulla superficie della terra e quindi del campo elettrico atmosferico, e di conseguenza della d.d.p. di riferimento V_{REF} è ancora sostanzialmente incognita o poco conosciuta.

ricarica; mentre $i_1(t)$ è la debole corrente aria – terra che scarica continuamente il condensatore attraverso la resistenza R dell'aria.

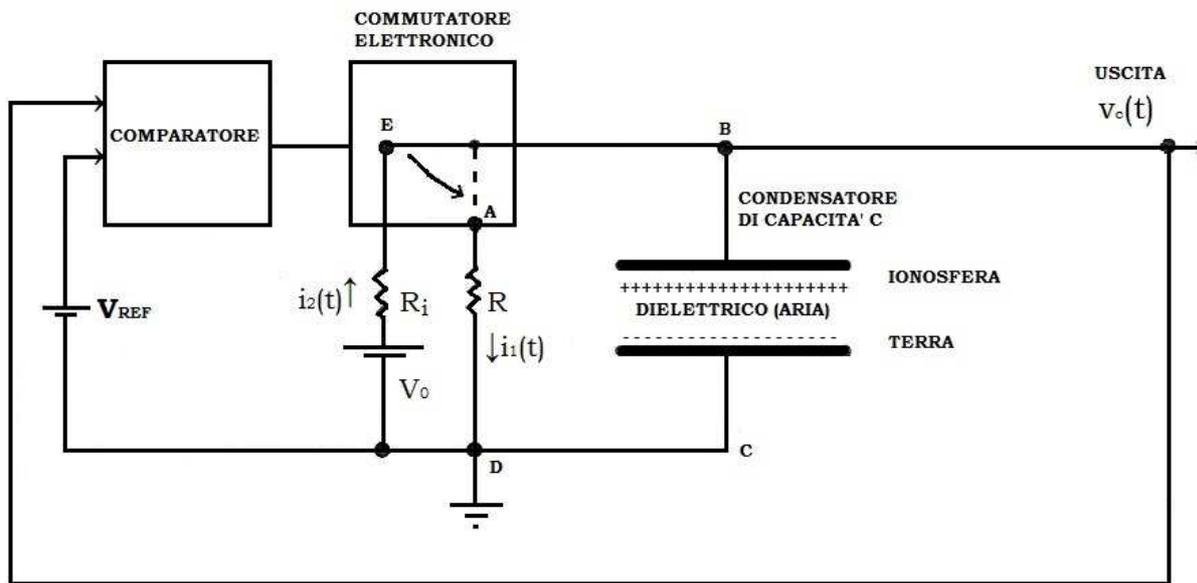


Fig. 22: Configurazione circuitale dell'unità di controllo che mantiene costante il campo elettrico atmosferico

Si possono avere due casi:

- $V_c(t) \leq V_{REF}$, in questo caso l'uscita del comparatore invia un segnale che commuta l'interruttore elettronico sulla posizione E, attivando il circuito di ricarica;
- $V_c(t) = V_o$, allora l'uscita del comparatore invia un segnale che commuta l'interruttore elettronico sulla posizione A, attivando il circuito di scarica.

Quando si verifica la condizione $V_c(t) < V_{REF}$, l'interruttore elettronico connette il generatore V_o (organo regolatore) al condensatore attraverso la resistenza $R_i \ll R$ per il tempo necessario alla ricarica, ottenendo così una corrente $i_2(t)$ terra-aria più intensa: ciò consente al condensatore di raggiungere la tensione V_o . Successivamente il comparatore vedrà una tensione $v_c(t) = V_o$ e se $V_o > V_{REF}$, come è presumibile atteso il significato di queste due tensioni, allora il commutatore ricollegherà nuovamente il condensatore alla resistenza R ; ed il ciclo si ripete.

La conoscenza delle relazioni che legano correnti e tensioni nel circuito permette di determinare l'equazione differenziale del sistema; e il comportamento nel tempo

di questo sistema di controllo viene descritto formalmente mediante la risoluzione dell'equazione differenziale⁴.

3. Ioni aerei e misure

Il fatto per cui l'atmosfera è dotata di una carica elettrica spaziale contiene grandi implicazioni di ordine meteorologico e climatologico. Le cariche elettriche dell'aria rivestono infatti un ruolo importante nella genesi del clima e nell'evoluzione del tempo atmosferico. Esiste una correlazione diretta tra la conducibilità elettrica della bassa atmosfera, la ionizzazione dell'aria ed il campo elettrico atmosferico; tutti questi elementi influenzano la formazione e il mantenimento dei microclimi nei quali l'uomo si trova a vivere, e sulla loro salubrità. Ad esempio, la presenza delle cariche elettriche nell'aria gioca un ruolo determinante nella formazione e nello sviluppo dei temporali e dei fulmini, materia questa oggetto di grande interesse scientifico.

Un problema drammaticamente attuale è quello relativo alla presenza nell'aria di grandi quantità di sostanze inquinanti. E' noto che, con il processo di industrializzazione, si è assistito all'utilizzo intensivo delle varie fonti di energia (legna, carbone, prodotti petroliferi, nucleare e altro ancora), e al grande aumento della motorizzazione; come conseguenza di tutto questo, la composizione dell'atmosfera è notevolmente cambiata.

Gli inquinanti gassosi e particellari (aereosol) causano la scomparsa degli ioni naturali, con conseguente abbassamento della conducibilità dell'aria. Uno studio di questo fenomeno è stato effettuato presso l'**Osservatorio Geofisico di Macerata**: si è così scoperto che dal 1969, l'intensità del campo elettrico atmosferico nelle vicinanze di Macerata è andato progressivamente diminuendo dall'iniziale valore di 130 V/m fino ad un valore di 80-90 V/m nella metà degli anni '80. Il cambiamento delle caratteristiche elettriche dell'aria, in un'area prevalentemente agricola delle Marche, è stata imputata all'arrivo di masse d'aria "ricche" di inquinanti, provenienti dall'Europa centrale (Murri A., 1980).

Una ricerca parallela condotta negli USA, in prossimità di Boston, ha confermato questi dati con uno sfasamento temporale: l'inizio del processo di riduzione del campo elettrico risale agli anni 1962-63.

Va rilevato come non esistono delle "mappe" del territorio nazionale, escluse sporadiche località, che forniscono un'indicazione sull'andamento annuale dei vari parametri elettrici atmosferici (conducibilità, concentrazione ioni, campo elettrico). Inoltre tutto ciò è reso più preoccupante dalla constatazione che ancora non si conoscono con esattezza quali possono essere le conseguenze biologiche a

⁴ Il lettore interessato agli aspetti analitici della trattazione può consultare il testo a cura di F. Pulcini, M. Scalia, M. Sperini e F. Guidi: *Effetti biologici degli ioni aerei, misure e modelli*; Edizioni Andromeda, 2014.

medio e lungo termine che si riscontreranno negli organismi viventi che soggiornano in un habitat dove il valore medio del campo elettrico ha avuto una così significativa diminuzione.

Il grado di ionizzazione dell'aria diventa dunque un parametro di rivelazione ecologica altamente indicativo della presenza di inquinanti atmosferici. Da ciò discende la grande importanza di poter effettuare misurazioni precise della quantità di ioni positivi e negativi e del loro spettro di mobilità in ambienti confinati così come nell'aria aperta.

L'analizzatore di ioni (*ionmeter*) AIM-101⁵ (Fig.23), grazie ai sofisticati circuiti elettronici ed alle soluzioni meccaniche impiegate, permette di misurare con precisione le seguenti grandezze:

1. la concentrazione dei piccoli ioni positivi e negativi;
2. la conducibilità dell'aria dovuta ai piccoli ioni;
3. lo spettro di mobilità;
4. la dimensione degli ioni;
5. la conducibilità dell'aria dovuta agli ioni piccoli e intermedi;
6. la densità di carica spaziale netta;
7. il campo elettrico atmosferico locale ad 1 m di altezza dal suolo.



Fig. 23: Ionmeter per la rilevazione della conducibilità dell'aria

Questo *ionmeter* permette la lettura contemporanea ed in tempo reale della concentrazione degli ioni positivi e negativi con un campo di misura che si estende da 10 a 10^6 ioni/cm³ e, con un errore di misura su tutte le scale di ± 10 ioni/cm³.

⁵ Si tratta di uno strumento di misura progettato dal prof. M. Scalia e dal fisico dott. M.Sperini e realizzato negli anni '90 dalla Soc. Biometrics s.r.l.

L'approccio, di carattere cibernetico, presentato nel par.3 (*Il mantenimento del campo elettrico atmosferico come sistema di regolazione*) diviene particolarmente utile all'operatore che usa lo *ionmeter* per effettuare uno studio quantitativo sullo stato elettrico di uno specifico microclima. In questo contesto i parametri elettrici che caratterizzano il microclima sono: il valore locale del campo elettrico, le concentrazioni di ioni, le conducibilità polari, la densità di carica spaziale e la corrente aria-terra. Attraverso misure effettuate con lo *ionmeter* in un sufficiente intervallo di tempo è possibile realizzare lo schema a blocchi del modello di mantenimento del campo elettrico di uno specifico microclima e, attraverso le corrispondenti equazioni differenziali, studiarne l'evoluzione nel tempo.

4. *Effetti biologici dei fenomeni elettrici atmosferici*

Fin dagli anni '30 numerosi autori hanno effettuato osservazioni sull'interazione tra ioni aerei ed organismi viventi. Sinteticamente le ricerche in questo settore hanno consentito di acquisire quanto segue. Quando il rapporto tra la *concentrazione di ioni negativi e positivi* è sbilanciato a favore dei primi, l'aria così composta presenta proprietà battericide, cosa questa che favorisce nelle piante lo sviluppo di una maggiore lunghezza dello stelo, una precocità della produzione di germogli, un incremento del numero di foglie, una maggiore resistenza alle malattie. La concentrazione di ioni negativi e positivi ha sull'uomo effetti di segno opposto: *benefici sembrano risultare i primi e dannosi i secondi* (sul sistema endocrino, neuromorale, nervoso e sul comportamento).

Verso la fine degli anni '50 fu trovata una correlazione fra attività solare (macchie solari) e incidenza dell'infarto del miocardio: *nei periodi di aumento della attività solare si osservava un aumento parallelo dell' **infarto del miocardio***.

Le intense eruzioni solari, si traducono nell'emissione nello spazio di particelle ionizzate; una parte di queste vengono catturate dalle fasce di Van Allen, altre riescono a raggiungere e a penetrare in meno di 24 ore nell'atmosfera all'altezza dei poli, dando origine, tra l'altro, alle aurore boreali. L'entrata di queste particelle cariche nell'atmosfera, provoca una brusca e intensa perturbazione nel campo magnetico terrestre e della ionizzazione dell'aria, con conseguente variazione della conducibilità e perciò del campo elettrico.

Vale la pena di citare uno dei pochi studi italiani sulla correlazione infarto e campo elettrico atmosferico, sempre condotto presso l'*Osservatorio Geofisico di Macerata*, in cui su 3380 casi di infarti e collapsi cardio-circolatori raccolti su una vasta area della regione adriatica centrale, si è potuto constatare un forte aumento dei decessi in autunno, quando le condizioni meteorologiche sono bruscamente mutabili con conseguenti variazioni significative del campo elettrico atmosferico (F. Censi e altri, 1975).

La letteratura aneddotica è particolarmente ricca di riferimenti a personaggi dalle insolite capacità di "sentire" il tempo meteorologico, di avvertirne i cambiamenti e

delinearne gli sviluppi futuri; del resto, basta ascoltare con disponibilità i racconti di persone comuni, ed in special modo di coloro che vivono in campagna, per avere ampi resoconti in tal senso. Le spiegazioni che solitamente vengono attribuite per queste “strane capacità” sono svariate: da quelle di tipo soprannaturale a quelle ingenu e semplicistiche ma, tuttavia, tutte significative della sviluppata fantasia popolare.

In ambito scientifico, gli studi sulle influenze atmosferiche e meteorologiche si sono intensificati negli ultimi anni in un’ottica interdisciplinare. In particolare, le ricerche epidemiologiche evidenziano l’influenza di alcuni eventi meteorologici sull’umore e sul comportamento degli esseri umani. Per esempio i cosiddetti “venti globali” (lo *Scirocco* in Italia, lo *Sharav* in Israele, il *Föhn* nelle regioni alpine, ecc.), sono stati associati all’aumento significativo di crimini, suicidi e incidenti sul posto di lavoro e automobilistici; ed anche ad irritabilità, insonnia, tensione muscolare ed emicrania. Le caratteristiche principali di questi venti sembrano essere le temperature superiori a 28°C, l’umidità relativa dell’aria inferiore al 25%, l’alterazione della concentrazione dei piccoli ioni, in particolare **l’aumento del numero degli ioni positivi**. Questi ultimi, favoriscono la produzione di **serotonina**, un neurotrasmettitore implicato in molti disturbi comportamentali, come l’iperattività, l’aggressività, la depressione e il suicidio.

Gli esperimenti di laboratorio indicano che ioni positivi e negativi agiscono in modo antagonista. L’eccesso di ioni aerei positivi nell’aria a livello comportamentale causa maggiore irritabilità, umore negativo e allungamento dei tempi di reazione; mentre per gli ioni negativi gli effetti sono opposti. *Gli ioni negativi diminuiscono la pressione sanguigna e aumentano la resistenza cutanea; azione contraria si ha con gli ioni positivi.*

Gli ioni aerei, così come indicato per i CEM nel precedente capitolo, possono in determinati contesti agire come stressori, i quali innescano la reazione di stress, sull’organismo come un tutto nei suoi aspetti fisici e comportamentali.

5. L’architettura della cute. La cute come membrana

La **cute** o **pelle**, riveste tutta la superficie del corpo ed è formata da tre diversi componenti: l’epidermide, il derma e il sottocutaneo (Fig.24); questa, insieme con le **produzioni cornee** (unghie e peli) e **ghiandolari** (sebacee, sudoripare e mammarie), costituisce l’organo cutaneo. In ambito fisiologico la pelle umana è l’organo di senso di maggiore estensione: la cute di un adulto ha una superficie di (1,2-2) m² ed un peso di circa 5 Kg. Si consideri che il tatto è il primo sistema sensoriale a svilupparsi nell’embrione; esso è presente nel feto già verso la fine del secondo mese di gravidanza. Tra il sistema cutaneo e quello nervoso, sia centrale che periferico, esiste una parentela embrionale, in quanto derivano ambedue

dall'ectoblasto⁶; inoltre tutti e due tali sistemi condividono una serie di neurotrasmettitori che sono secreti congiuntamente dalla cute e dai neuroni.

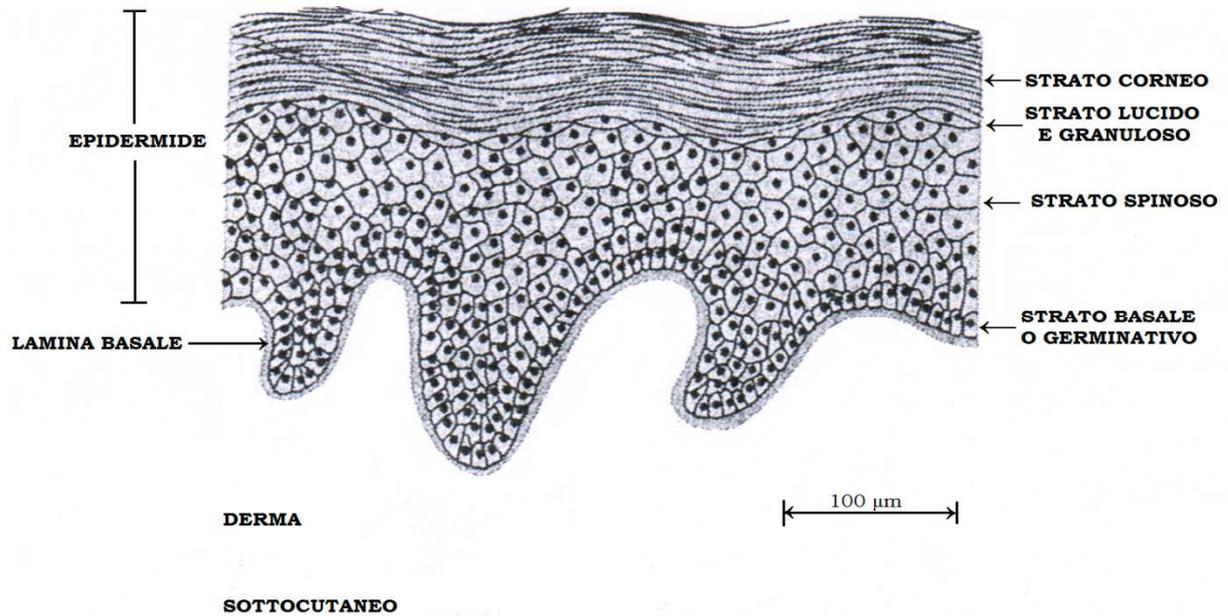


Fig. 24: Rappresentazione schematica della cute. La cute, dall'esterno verso l'interno, è anatomicamente suddivisa in tre strati: epidermide; derma o corion; tessuto sottocutaneo o sottocute.

Tra le molte funzioni della cute c'è quella di organo sensorio, di essere impermeabile, di allontanare sostanze chimiche, di resistere agli urti meccanici, di assorbire la radiazione elettromagnetica e di contribuire al meccanismo omeostatico della termoregolazione, il quale regola la perdita di calore corporeo.

L'epidermide agisce come barriera protettiva contro gli agenti chimici e patogeni, la radiazione elettromagnetica e serve a limitare la perdita di acqua del corpo. Collocato tra epidermide e sottocutaneo, c'è il derma, la cui funzione principale è quella di rifornire l'epidermide di sostanze nutritive e assicurare resistenza meccanica ed elastica alla cute. Lo strato sottocutaneo è costituito principalmente di grasso e tessuto connettivo e serve come isolante e per assorbire gli urti meccanici.

Gli epiteli, un livello di organizzazione superiore rispetto alla cellula, non separano il proprio interno dall'esterno con una semplice membrana plasmatica, ma si servono di cellule disposte le une accanto alle altre in una configurazione detta a palizzata, costituita da un unico o più strati di cellule sovrapposte. Il complesso di queste cellule così organizzate prende il nome di **membrana epiteliale** o semplicemente **epitelio**.

⁶ Ectoblasto, sinonimo di ectoderma, un foglietto embrionale superficiale destinato a differenziarsi in epidermide e sistema nervoso.

L'epitelio più semplice è costituito da un unico strato (monostrato) di cellule saldate insieme per mezzo di giunzioni lungo la parete laterale; questi si trovano nelle cavità interne del corpo comunicanti con l'esterno (ad esempio lume dell'intestino e vie respiratorie). Qualora la parte esterna dell'epitelio, come nel caso dell'epidermide, sia direttamente in contatto con l'ambiente esterno e quindi facilmente danneggiabile, a far fronte a questa situazione più complessa soccorre l'organizzazione in più strati di cellule sovrapposte.

La cute si presenta come una membrana di strati cellulari eterogenei, che viene indicata come **membrana dermoepidermica**. La superficie esterna di questa membrana è lo strato corneo, che rappresenta l'interfaccia con l'esterno (l'aria); l'interfaccia interno, con il derma, è la **lamina o membrana basale** che delimita l'interno (il derma). All'interno di questa membrana si trovano i vari strati di cellule che costituiscono l'epidermide.

La membrana dermoepidermica presenta ai suoi capi una **differenza di potenziale transepiteliale**, spesso indicata in letteratura con l'acronimo **TEP**, di circa 40 mV, e ad essa è associato un campo elettrico E_{TEP} medio di $4 \cdot 10^6$ V/m. La TEP, d.d.p. tra strato corneo e derma, non deve essere confusa con il potenziale cutaneo, d.d.p. tra due diversi strati cornei, di cui si parlerà nel prossimo paragrafo.

Le **cellule del tessuto epiteliale** sono in generale sede di campi elettromagnetici endogeni, così come la **membrana basale**. La membrana basale della cute, in particolare è la responsabile della generazione di un campo elettrico, recentemente studiato e misurato, che permette la guarigione delle ferite cutanee e più in generale la rigenerazione dei tessuti.

8. Attività elettrica della cute

In elettrofisiologia⁷ con il termine **attività elettrica della pelle** (AEP) si intende l'insieme dei fenomeni elettrici, attivi e passivi, con tutte le loro variazioni temporali, associati al funzionamento della cute e *registrabili sulla superficie del corpo*. L'attività elettrica della pelle può essere suddivisa schematicamente in *attività elettrocutanea di base o di fondo*, detta anche **componente lenta o tonica**, e *attività elettrocutanea di risposta* a stimoli esterni di diversa natura, denominata **componente fasica o rapida**.

La componente tonica, quella lenta, è rappresentata con due parametri:

1. **L'impedenza Z** , caratterizzata dal modulo $|Z|$, e dalla fase θ dell'impedenza della cute al variare della frequenza;
2. **Il livello di potenziale cutaneo (LPC).**

⁷ Si occupa dei segnali elettrici collegati all'attività degli organismi viventi, quali, movimento, ricezione e risposta agli stimoli esterni, ecc.

La misura dell'**impedenza** della cute effettuata a frequenza zero, ovvero in tensione continua è il **livello di resistenza cutanea, LRC**, o il **livello di conduttanza cutanea, LCC**. L'LRC è la registrazione della resistenza cutanea R e si misura in ohm [Ω]; L'LCC è l'inverso della resistenza cutanea ($1/R$) e si misura in siemens [S]. La **resistenza** o la **conduttanza** della cute sono dei parametri **esogeni**, in quanto la loro rivelazione avviene attraverso l'uso di una sorgente di energia esterna.

Ricerche eseguite con metodologie elettrofisiologiche hanno accertato che, in condizioni normali, la cute presenta una resistenza elettrica che, pur variando con il soggetto e le condizioni ambientali, è compresa fra 0,5 e 1 M Ω ; *la pelle è quindi un cattivo conduttore della corrente elettrica*⁸.

Il **livello di potenziale cutaneo** è invece la misura della tensione elettrica V_0 presente su un punto della superficie cutanea riferito a "massa" e si misura in volt [V]. Questo parametro è considerato **endogeno** in quanto viene registrato senza l'uso di sorgenti di energia esterne. I valori misurati sperimentalmente dell'LPC sono nell'intervallo da 1-40 mV, con frequenza inferiore a 3 Hz.

La componente fasica dell'EAP, quella rapida, all'inizio del secolo era denominata *riflesso psicogalvanico (GSR)*; successivamente il nome fu cambiato in *risposta psicogalvanica (RPG)*. Ambedue i termini, in generale, erano riferiti alle rapide variazioni dell'attività elettrocuteanea di fondo; qualunque fosse il nome, un tal tipo di rilevazioni era il nucleo della famosa "macchina della verità", che tanta fortuna ha avuto nei film polizieschi o giudiziari. L'uso ambiguo di quei due termini è stato attualmente sostituito, rispettivamente con: **risposta di resistenza cutanea, RRC**; **risposta di conduttanza cutanea, RCC**, e **risposta di potenziale cutaneo, RPC**.

E' bene sottolineare che, per ognuno dei parametri cutanei presi in considerazione, si parla di **risposta** quando si esamina il comportamento della componente **fasica** (rapida) dell'AEP; mentre si parla di **livello** per la componente **tonica** (lenta) dell'AEP. La sottolineatura allude anche ai *diversi protocolli clinici* che regolano questi tipi di misura: *una, quella che vuole una **risposta**, pone il problema della compatibilità del soggetto con il segnale elettrico che gli viene inviato, mentre la seconda, che misura il **livello** senza l'invio di alcun segnale elettrico, è del tutto omologa alle misure dell'elettrocardiogramma (ECG) o elettrencefalogramma (EEG)*.

In generale, lo studio delle proprietà elettriche dei materiali biologici (membrana cellulare, cellula, tessuto, cute) viene effettuato partendo dall'apparato ideale di

⁸ Fanno eccezione alcune aree della cute, del diametro di pochi millimetri, detti **punti dell'agopuntura (AP)**, che presentano un ridotto livello di resistenza cutanea, di 50-100 K Ω .

misura schematizzato in Fig.25 e servendosi dei vari metodi di analisi dei sistemi elettrici.

Tutti i materiali biologici vengono caratterizzati elettricamente mediante la loro impedenza Z . In generale, l'impedenza Z rappresenta praticamente il tipo di risposta in frequenza del sistema biologico esaminato. L'impedenza viene definita come il rapporto fra la tensione $V(t)$ applicata e la corrente $i(t)$ che scorre nel materiale biologico.

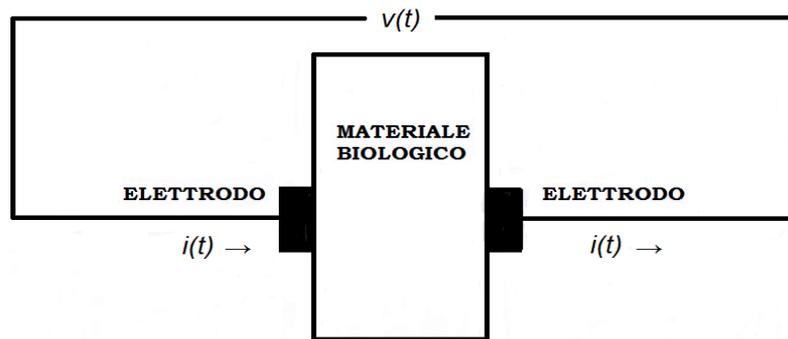


FIG. 25: Principio di misura delle caratteristiche elettriche di un oggetto biologico

Dal punto di vista applicativo la misura dell'impedenza elettrica della cute viene impiegata come tecnica diagnostica in **dermatologia** per quantificare lo stato di salute e di malattia della pelle e in **medicina estetica** per valutare il contenuto in acqua di particolari aree della cute. Inoltre nella **medicina riabilitativa** stimoli elettrici, magnetici e campi elettromagnetici vengono applicati sulla superficie del corpo. Infine, già dalla fine del secolo scorso l'attività elettrica della cute è stata ampiamente utilizzata nel campo della **psicofisiologia**.

La cute, considerata per molto tempo solo come una semplice struttura di protezione, sembra invece costituire un'interfaccia biologica attiva. Ad esempio, i dermatomeri⁹, sono aree cutanee legate al sistema nervoso, la cui attività elettrica sembra essere correlata alla funzionalità degli organi del corpo umano. In parole più semplici, la misura dell'attività elettrica della cute può essere un indicatore dei differenti gradi di funzionalità nella regolazione di molte strutture biologiche, ad esempio *visceri, muscoli, articolazioni, organi interni*, ecc., e pertanto *può rivelarne precocemente differenti condizioni morbose*.

Nel modello semplificato della cute in Fig. 26, l'impedenza Z è costituita da un resistore R_2 , il quale rappresenta con il suo valore di resistenza il comportamento dei tre tipi di ghiandole (sebacee, sudoripare apocrine e eccrine) che ricoprono il corpo degli esseri umani. In parallelo, troviamo un condensatore C simulante il

⁹ Sono zone della cute innervate da una singola radice nervosa.

comportamento dello strato corneo, una barriera che impedisce il passaggio di qualunque tensione elettrica di valore costante; ma che non appena i segnali applicati sulla superficie della cute variano nel tempo, si lascia attraversare tanto più facilmente quanto più è elevata la frequenza della tensione. Infine, in serie con questo parallelo troviamo un secondo resistore R_1 , molto più piccolo del precedente, che rappresenta la resistenza degli altri strati dell'epidermide e del derma. Il molto minore (\ll) assume il seguente significato fisico: se un segnale elettrico riesce a penetrare senza troppa attenuazione nel derma, non avrà difficoltà a raggiungere facilmente gli organi interni.

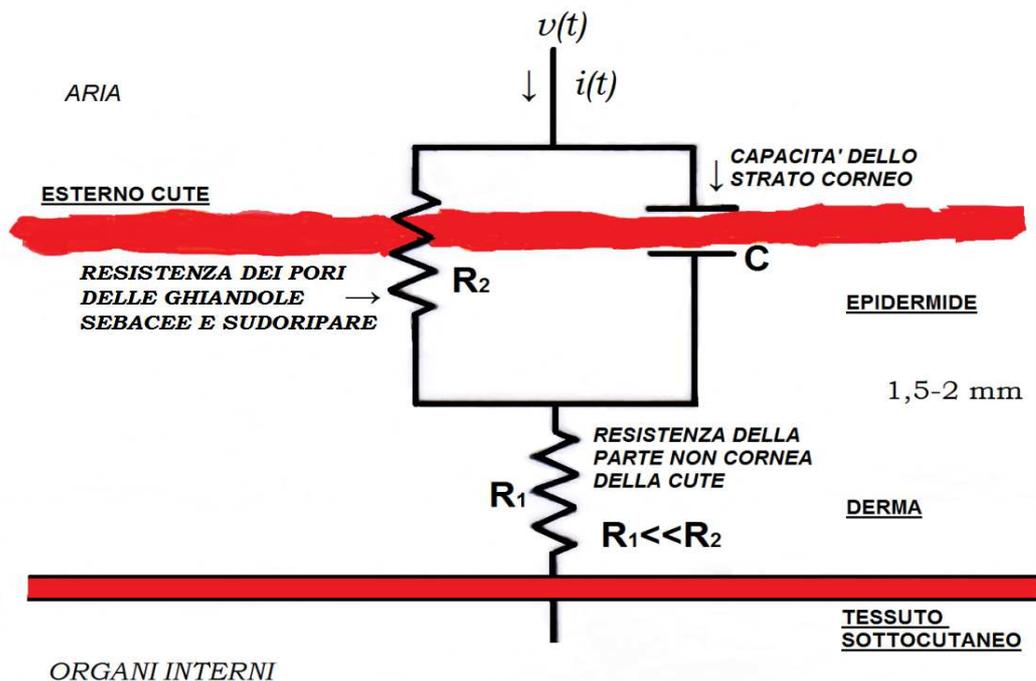


FIG. 26: Modello elettrico semplificato della cute. La resistenza del derma, R_1 , è molto minore di quella dell'epidermide, R_2 . Il tessuto sottocutaneo è rappresentato come immediatamente contiguo al derma, la barra rossa che li separa schematizza la lamina o membrana basale (vedi Fig. 24). Gli *ORGANI INTERNI* sono citati per completezza, come l'*ARIA* rappresenta l'ambiente esterno

9. Misura dell'attività elettrica della cute

Attualmente, grazie ad uno strumento che consente di misurare facilmente l'attività elettrica della pelle (l'APEC 300, Fig. 27), realizzato dal gruppo di ricerca del prof. Scalia, è possibile misurare con notevole precisione i parametri del sottosistema cutaneo indicativi di capacità di regolazione del sistema globale. In particolare, L'APEC 300 è in grado di:

- rivelare, con tecnica non invasiva, il potenziale presente nei diversi distretti cutanei e le variazioni di questo potenziale in risposta agli stressori ambientali;
- misurare l'impedenza cutanea Z in continua (per ottenere la resistenza cutanea R) ed in bassa frequenza;
- applicare sollecitazioni, mediante generatore di impulsi di tensione o corrente, finalizzate allo studio del sistema di regolazione cutaneo associato al particolare dermatomero.

Con l'APEC è anche possibile misurare il potenziale di colture cellulari e il TEP della cute *in vivo*.



Fig. 27: Immagine dell'analizzatore di parametri elettrocutanei APEC 300, commercializzato dalla ditta MCS s.r.l. di Pomezia

Gli effetti biologici degli ioni aerei avvengono con un meccanismo di **induzione** o per **inalazione**. Negli oggetti che intercettano il flusso di ioni aerei atmosferici si generano delle correnti; ad esempio, in condizioni di aria pulita, sull'intero corpo umano si genera una corrente di circa 0,01 nA, la quale in condizioni di tempo perturbato può aumentare di 100 volte. Questa corrente analogamente a sollecitazioni di carattere psicofisiologico, determina variazioni nell'impedenza Z della cute.

Un campo elettromagnetico incidente, penetrando nella cute ne altera l'impedenza. L'APEC 300 è stato progettato per poter rivelare variazioni anche di pochi ohm dell'impedenza cutanea e per verificare sperimentalmente se **correnti, molto piccole**, come quelle indotte da **campi elettromagnetici "deboli"** e/o dagli **ioni aerei**, siano in grado di **modificare il livello di potenziale cutaneo** (LPC).

L'ipotesi avanzata nel capitolo precedente, da confermare attraverso la sperimentazione è di seguito esposta. Il campo interno indotto dal campo esterno incidente (campi emessi dagli elettrodotti in bassissima frequenza, da antenne emittenti sulle bande VLF, RF, microonde, wi-fi modulate in bassa frequenza) altera lo stato stazionario a livello di tessuto e di cellula. Se, **cessata la reazione di stress, resta la presenza dello stressore** (il campo), *i sistemi di difesa spostano la loro azione sulla barriera protettiva rappresentata dalla pelle; i parametri elettrocutanei si modificano per cercare di attenuare o arrestare la penetrazione della radiazione nei tessuti e negli organi sottostanti.*

Questo meccanismo funziona adeguatamente per un periodo più o meno lungo di tempo (in relazione alle precedentemente menzionate condizioni al contorno), ma poi si rivela controproducente perché, *una volta cronicizzata la condizione di "alterazione" dei parametri elettrocutanei, questi finiscono con l'inviare **informazioni scorrette sullo stato di salute degli organi** ai sistemi interni di regolazione.* Si attivano così risposte adattive non corrette che con il tempo possono innescare inizialmente disturbi di tipo funzionale e poi strutturale degli organi.

Un'ipotesi di tal genere può essere avanzata anche rispetto alle variazioni di concentrazione e mobilità degli ioni atmosferici, sia all'aperto che in ambiente confinato. Sulle possibili correlazioni tra ioni atmosferici e salute umana rimandiamo ad altri testi (M. Scalia e altri, 2013; M. Scalia, M. Sperini e F. Guidi, 2014), rilevando però che la sperimentazione lì descritta, mentre si poteva giovare di uno strumento ad alto potere risolutivo – *lo Ionmeter*, in grado di rilevare correnti di intensità inferiore al picoAmpere ($=10^{-12}$ A) – non aveva invece la possibilità di poter registrare effetti immediati tramite la contemporanea misura dell'AEP. Ora questo diventa possibile con APEC 300.

L'accenno prima fatto alle colture cellulari indica la vocazione di fondo di tutte queste ricerche: approfondire lo studio dell'attività elettromagnetica della cellula e dei suoi componenti, perché da un'assai più compiuta conoscenza di queste attività ci si può attendere risposte da tempo inevase sul piano della ricerca fondamentale teorica e, successivamente, sul piano applicativo, capire anche quali interazioni possano essere indicate come giovevoli alla salute umana