

Indicatori in Stabilometria

Definizione generale di stabilometria

La *stabilometria* è una *valutazione strumentale* della stabilità dell'individuo nella stazione eretta. Si distingue una stabilometria *statica* e una *dinamica*. Viene anche effettuata in posizione seduta.

La prima, valuta l'individuo sopra una *pedana dinamometrica* (misuratore di forze) sia ad occhi aperti che chiusi.

La seconda, esegue la valutazione sempre sopra di una pedana dinamometrica che ha dei movimenti sul piano antero-posteriore per evocare delle risposte riflesse ed è chiamata *Equi-Test* e non sarà trattata in questo lavoro.

In entrambi i casi, le rilevazioni su pedana avvengono sempre mediante riferimento agli *assi cartesiani*, dove su ogni pedana, per orientarci dobbiamo sapere che:

- Il piano sagittale corrisponde a quello antero-posteriore (AP) ed è proprio dell'asse Y (ordinate)
- Il piano frontale corrisponde a quello medio-laterale (ML) ed è proprio dell'asse X (ascisse).

La definizione clinica, pratica definitiva ci dice che è la misurazione di tutti gli indicatori cinetici e cinematici rilevati mediante l'utilizzo di una pedana dinamometrica, in stazione eretta in postura di prova del filo a piombo bipodalica, monopodalica o in posizione seduta con o senza ausili e ortesi.

Indicatori clinici (parametri)

Gli indicatori posturali (parametri, variabili) utilizzati in clinica per la valutazione sono distinguibili in due categorie

- *cinetici* o *quantitativi* o *funzionali*
- *cinematici* o *qualitativi* o *strutturali*

I primi riguardano i valori numerici delle *dimensioni lineari* (sono espressi in mm o cm) e ci danno informazioni sulla *funzione*, i secondi riguardano gli *aspetti geometrici* o *grafici* dell'analisi, e ci danno informazioni sulle *strutture*.

E sono:

Cinetici o quantitativo funzionali

1. Lunghezza della traccia
2. Area sottesa
3. Analisi nel dominio delle frequenze secondo Fourier e Prieto
4. Indice di interferenza cervicale
5. Indice di Chieti

Cinematici o qualitativo strutturali

1. Statochinesigramma
2. Stabilogramma
3. Deriva o radar balance

Analisi specifica degli indicatori stabilometrici

Premessa

Nel corpo umano l'equilibrio è mantenuto attraverso un *complesso* sistema di controllo neuromuscolare. In *stazione eretta* il poligono di appoggio è dato dall'area compresa tra i due podogrammi, che in condizioni normali è relativamente poco estesa. Il baricentro si trova a una quota abbastanza elevata, variante fra L3 ed S1.

Ciò comporta un'intrinseca instabilità: spostamenti anche piccoli del corpo possono spostare la verticale passante per il baricentro esternamente al poligono di appoggio. Per esempio, quando ci mettiamo in punta di piedi il poligono di appoggio si riduce ulteriormente, ed è quindi difficile in questa posizione, mantenersi a lungo in equilibrio, spendendo inoltre molta energia.

Se si flette il tronco in avanti il baricentro tende a spostarsi in avanti fuori del poligono di appoggio e la verticale che passa per il baricentro tende ad uscire dal poligono di sostegno. Per contrastare questo fatto, ed evitare la caduta, si ha un concomitante spostamento delle gambe e delle natiche all'indietro (*compenso*) in condizioni normali.

È questo il motivo per cui è impossibile compiere delle flessioni in avanti mantenendo le terga appoggiate ad esempio contro la parete della stanza.

Data l'intrinseca instabilità del corpo umano anche quando si sta fermi sul posto, sappiamo che intervengono dei meccanismi neuromuscolari a varia afferenza ed efferenza, di cui diremo più avanti, necessari al mantenimento dell'equilibrio del corpo umano nel suo insieme e nelle sue parti. In stazione eretta statica con appoggio monopodalico la proiezione a terra del baricentro deve sempre passare all'interno dell'area del podogramma o destro o sinistro, se tale situazione non viene assolta, data l'instabilità ci può essere la tendenza o la caduta a terra.

In *posizione seduta* (sollevata su sedia), il poligono di appoggio è dato da parte del "vu" femorale (femori), parte del bacino e piedi al suolo. La proiezione sul poligono di appoggio del baricentro (avanti la colonna vertebrale D11 e dentro il tronco), ed il CoP (centro di pressione), deve trovarsi in condizioni normali ben posizionato all'interno di tale area.

Questo avviene quando il soggetto per esempio si trova seduto con l'appoggio degli arti superiori su entrambi i femori, il tronco è eretto, con il capo ed il collo allineati e lo sguardo è all'infinito. Il "vu" femorale è aperto a 30°, le tibie sono a 90° rispetto ai femori.

Se per esempio il soggetto accavalla le gambe (posizione del sarto), la situazione di equilibrio ovviamente cambia.

In tutti i casi comunque (stazione eretta, posizione seduta), condizione necessaria e sufficiente perché un corpo appoggiato su un piano orizzontale sia in equilibrio, è che la verticale abbassata dal suo baricentro passi internamente alla base di appoggio.

Risulta pertanto che :

- *l'equilibrio è tanto più stabile quanto più estesa è la base di appoggio*. Infatti allargando la base, s'allunga il raggio dell'arco che il baricentro deve percorrere per trovarsi verticalmente fuori dallo stesso

- *l'equilibrio è tanto più stabile quanto più basso è il baricentro* . In posizione seduta, si avvicina alla base di appoggio.

Qui torna utile una precisazione neurofisiologica molto importante sull'affermazione che “ *l'equilibrio sarebbe tanto più stabile quanto più grande è il peso del corpo* “ .Con il crescere del peso , secondo la fisica, cresce la forza necessaria per produrre nel corpo lo spostamento che lo fa cadere .Ma questo vale nei *gravi inanimati* .

Nel corpo umano esiste un *driver centrale* (sistema nervoso centrale : cervello , cervelletto) e uno *periferico* (sistema nervoso periferico : midollo spinale e nervi) che intervengono nel gesto e nella postura continuamente .Sia in condizioni normali che patologiche seppur in maniera ridotta .Basti pensare alla stabilità fra due soggetti sani : uno alto 1 metro e novanta e pesante 50 Kg , uno basso di statura 1 metro e sessanta e pesante 80 Kg (obeso) . Entrambi se privi di patologie al sistema nervoso e osteoarticolare non presentano alterazioni dell'equilibrio. Le cose cambiano se ad esempio il soggetto basso e grasso è affetto da diabete mellito con interessamento del sistema nervoso periferico (polineuropatia). Seppur basso e pesante, ai test neurologici presenterà delle oscillazioni posturali patologiche e ben evidenti, registrabili con la stabilometria.

L'equilibrio è una forma di sensibilità che non contribuisce significativamente a determinare lo stato di coscienza, ma è essenziale per la coordinazione delle risposte motorie , dei movimenti oculari , della postura .

Affinché si possa avere un equilibrio e una postura appropriati , occorre che siano disponibili informazioni continue sulla posizione e movimento di tutte le parti del corpo , compresi capo e occhi .

Per definizione la *postura è definita come l'orientazione del corpo e delle sue parti rispetto alla verticale, mentre la posizione è l'orientazione di una parte del corpo rispetto alle altre.*

Il sistema scheletrico regge la massa corporea in modo efficace quando la postura è normale.

La quantità di energia spesa per le contrazioni muscolari richieste per mantenere la postura è molto bassa e in tale situazione i muscoli presentano una certa attività contrattile che si identifica con il *tono muscolare* di base .

La postura è un processo neuromuscolare attivo che dipende dai centri del tronco encefalico, da stimoli provenienti dalla propriocezione, da impulsi labirintici e visivi che afferiscono per rendere idonei i riflessi di raddrizzamento e altri più complessi .

Misurare la posizione media del centro di gravità e la sua dispersione significa misurare la stabilità, che è la proprietà di un corpo disturbato nel suo equilibrio di tornare al suo stato (*Gage, 2000*)

. *L'equilibrio è uno stato limite ideale verso cui si tende e può essere quantificato misurandolo (Thomas, 1940) ad esempio con uno stabilometro .*

L'uomo ha minore stabilità degli altri animali, perché ha relativamente piccola la base di appoggio e il baricentro piuttosto elevato. Ritto sui due piedi l'uomo sta bene in equilibrio, ma appoggiato sopra un solo piede, il suo equilibrio diventa difficile da mantenere ; più difficile ancora diventa se tenta di camminare sopra un travicello o sopra una fune , nei quali casi la base di appoggio risulta assai stretta . Se per urto (perturbazione) il baricentro è spostato lateralmente in modo che la verticale passante per esso esca dalla base di appoggio, si può avere la caduta a terra.

Per prevenire questo pericolo, conviene evidentemente che la base sia ampia e il baricentro basso quanto più possibile .

Nell'uomo, in caso di urti in stazione eretta statica che lo spostano avanti, di lato o indietro, subentrano in condizioni normali, dei meccanismi riflessi (sopraspinali , labirintici-cinetici) che attivano in ultimo le posture di salvaguardia (*riflessi paracadute*) , stessa cosa in posizione seduta .

Nel paziente con patologia del sistema nervoso centrale o periferico (esiti di ictus , polineuropatie ecc.) osserviamo che il mantenimento della stazione eretta statica è ottenuto con l'allargamento della base di appoggio, l'abduzione degli arti superiori , con postura globale in lieve flessione alle anche, ginocchia e magari ricerca continua dei punti di appoggio .Stessa cosa, la possiamo osservare nella posizione seduta.

Nel paziente con patologie degenerative a carico dell'apparato locomotore anche in assenza di patologie del sistema nervoso centrale, sistema nervoso periferico, essendoci alterazioni degli assi corporei (modificazioni osse artrosiche, tendinopatie, ecc.) le verticali gravitarie non passando più per i centri delle articolazioni, creano dei *momenti* (flessioni, rotazioni, inclinazioni) che biomeccanicamente provocano *instabilità* e contemporaneamente aumento del dispendio energetico che indirettamente può essere misurato mediante la stabilometria con analisi della lunghezza della traccia .

Possiamo terminare affermando che nelle patologiche del sistema equilibrio e della postura, si attuano delle *strategie* e dei tentativi di *compenso* che in maggiore o minor misura conducono l'organismo umano ad avere una *postura* che abbia *un abbassamento del baricentro verso il piano di appoggio e un allargamento del poligono di appoggio*.

Tutto questo avviene sempre con incremento del dispendio energetico.

In sintesi: si *riducono le altezze*, si *allargano le superfici*.

Il sistema equilibrio nell'uomo consente di passare, in condizioni normali, da situazioni di equilibrio stabile a instabile e indifferente con scambio da una all'altra situazione , senza che l'individuo se ne accorga . In condizioni patologiche tutto questo può essere alterato in vario grado .

Nel soggetto normale, esiste un'*instabilità di base o fisiologica*, determinata da *fattori intrinseci* ed *estrinseci* che sono per i primi:

- *contrazioni muscolari necessarie al mantenimento della postura antigravitaria e non assunta in quel momento (tono muscolare)*
- *funzionamento continuo degli apparati cardio-respiratorio (attività cardiaca, in-espiazione)*
- *movimenti intestinali*
- *tipo di canale sensoriale preferenziale utilizzato dall'individuo per ottenere l'equilibrio mediante le risposte riflesse (vista, propriocezione)*
- *movimenti non voluti (tic, tremori, discinesie)*
- *Movimenti intenzionali del paziente (cognitivi: simulazione, dissimulazione, rievocazione di sintomi)*

Per i *fattori estrinseci*:

- *varie perturbazioni esterne (acustiche , visive , meccaniche , cognitive , altro)*

Nell'uomo, concorrono per l'orientamento spaziale, una serie di segnali provenienti da recettori periferici che inviano informazioni visive , labirintiche , uditive , propriocettive .

I tre sistemi principali, visivo, vestibolare, propriocettivo , sono legati fra di loro , anche se l'integrazione a livello centrale (corteccia cerebrale , cervelletto , nuclei vestibolari , sostanza reticolare) non é ancora ben nota . Questa consente di organizzare le risposte riflesse motorie adeguate alla situazione che si traduce in movimenti oculari compensatori per mantenere la fissazione di un oggetto durante i movimenti e le varie posture (riflesso vestibolo-oculare) , ed i movimenti del corpo per mantenere l'equilibrio (riflesso vestibolo-spinale) .

Sappiamo ormai , che quando uno dei canali sensoriali é danneggiato o non fornisce informazioni o le fornisce errate e discordanti da quelle fornite da altri canali , per cui si ha una *erronea sensazione di movimento , un'allucinazione del senso spaziale , una vertigine* .

La sensazione di vertigine può essere accompagnata da angoscia, reazioni vegetative come nausea , sudorazione fredda , vomito .

Se è avvertita come un movimento rotatorio dell'ambiente circostante è riferita come *oggettiva* , se come rotazione del proprio corpo , *soggettiva* .

Deve essere tenuta distinta da altre condizioni variamente indicate dal paziente come: sensazione di testa vuota, confusione , incertezza , senso di sbandamento , instabilità che sono invece *pseudoveragini* o disturbi di tipo vertiginoso , comprese nel termine generico di *dizziness* .

Per il sistema visivo, durante la stazione eretta statica bipodalica per l'esecuzione della stabilometria a occhi aperti, per ogni secondo di apertura degli occhi, nella fissazione di un immagine noi siamo ciechi per 250 millisecondi, cioè 1/4 del tempo della nostra apertura occhi : su 30 secondi , circa 7,5 secondi noi non vediamo, siamo ciechi. E' la *soppressione saccadica* .

Durante i movimenti oculari il nostro cervello "spegne" la visione, per evitare l'effetto di *scivolamento delle immagini o effetto , telecamera* , molto fastidioso. Una saccade dura in media 50-100 millisecondi , mentre le pause di fissazione (l'occhio vede perfettamente) non superano i 400 millisecondi. Il cervello corregge l'immagine portandola a fuoco grazie alle continue saccadi di esplorazione dell'ambiente.

Non possiamo fissare lo sguardo neanche se ci sforziamo; al massimo dopo 400 millisecondi l'occhio compie piccole saccadi correttive, e devia di qualche frazione di millimetro per poi magari tornare nella posizione originaria. Il segnale di controllo dei movimenti oculari rapidi é l'*errore retinico*. L'immagine singola che è elaborata in 100 millisecondi dalla retina e dal cervello é molto scarsa.

L'errore coniugato percepito dalla corteccia cerebrale causa la produzione di segnali che sono inviati alla *formazione reticolare pontina paramediana (PPRF)* scatenando il movimento oculare correttivo e ridurre a zero l'errore. L'immagine che otteniamo é mediata dalla *memoria* e confrontata con i processi mnemonici. Noi vediamo in modo nitido perché la memoria ricostruisce l'intera immagine retinica dando *l'illusione della nitidezza*. L'occhio é uno *scanner* continuo. La distanza temporale minima affinché due immagini siano considerate dal nostro occhio separate é di 80-100 millisecondi (1/10 di secondo), l'effetto *cinematografia* avviene sopra di tale valore.

Se l'immagine di un oggetto sulla retina non si muove, svanisce. Quando si guarda in modo costante un oggetto, si deve vivificare l'immagine muovendo delicatamente gli occhi, compiendo dei piccoli e rapidi scatti (saccadi) (1).

Vi sono diverse *teorie* per inquadrare le regole che governano il sistema equilibrio e la postura, e sono le teorie *cibernetiche, cognitive* e quella dei *sistemi non lineari complessi*.

Secondo Ashby (1952) un *sistema* é un qualunque insieme di variabili che lo sperimentatore seleziona tra tutte quelle disponibili , e come variabili si definisce una qualunque quantità misurabile che in ogni istante ha un valore numerico (es. pressione , temperatura , angoli , etc.) .

Grodins (1963) sviluppa ulteriormente questo concetto definendo il sistema comune una connessione di componenti arrangiati e interconnessi in un modo definito .Tali componenti possono essere fisici , chimici , biologici o una combinazione dei tre . Milsum (1966) definisce a sua volta il sistema come un qualunque insieme di strutture comunicanti e processi che insieme svolgono una funzione .

Il comportamento del sistema è determinato dagli ingressi al sistema, o variabili, dalle caratteristiche dei componenti o sottosistemi ; dalla struttura della comunicazione tra i componenti , comunicazione che abitualmente richiede vie di retroazione .

Ogni sistema può essere considerato come una scatola bianca oppure come una scatola nera .

La scatola bianca é un sistema costruito in modo tale che una certa relazione tra input e output venga garantita .

Al contrario nella scatola nera soltanto le funzioni di ingresso e uscita sono conosciute ma non i processi che determinano la relazione input-output , e quindi tutti i processi e le strutture che danno origine a una determinata operazione .

Il sistema dell'equilibrio se considerato una scatola nera, fa conseguire che non é corretto prevedere il funzionamento delle strutture interne alla scatola potendo valutare (e non necessariamente conoscere) soltanto gli input e gli output di tale scatola . Si può ovviare a tale difficoltà impostando un modello cibernetico rappresentativo della funzione di questa scatola sulla base del modello fornito dai sistemi complessi .

Il sistema dell'equilibrio può quindi essere interpretato come un sistema complesso, circolare, tempo variante e causale. Tale sistema risponderà alle leggi che regolano i sistemi complessi di questo tipo.

Secondo le teorie *neurocognitive* , il sistema equilibrio sarebbe da considerarsi di fatto una scatola bianca e pertanto i moduli presenti fra input e output sarebbero studiabili e processabili .

Le informazioni provenienti dall'ambiente , visive (spazio remoto) e somestesiche (spazio prossimo) , passando attraverso la corteccia visiva e somestesica rispettivamente , giungerebbero alla corteccia parietale posteriore dove aree specifiche (area 5 e 6) elaborano gli stimoli visivi , tattili, cinestesici , vestibolari , codificando le coordinate spaziali centrate sul capo , sul corpo (coordinate egocentriche : linea mediana) e sull'ambiente (coordinate allocentriche) .

Attraverso la corteccia premotoria (orientamento spaziale) e la corteccia motrice supplementare (programmazione delle sequenze motorie) , gli output sono inviati alla corteccia motoria per l'esecuzione del movimento volontario utile ai fini del mantenimento dell'equilibrio .

La linea mediana è una coordinata particolare che aiuta a definire la lateralizzazione anatomica e funzionale del corpo e dell'ambiente .

Negli ultimi anni, si è fatta strada la concezione che il sistema *posturale* e il *sistema equilibrio* siano da considerarsi come *sistemi non lineari complessi* . Le *proprietà emergenti* delle quali non è mai data dalla semplice somma di ciascun componente .

La stragrande maggioranza dei *sistemi fisici* è *non lineare*, rendendo la ricerca di soluzioni su base *elementare* molto difficile e talvolta impossibile .

Ed è in questa affermazione che si svolge attualmente il dramma dell'analisi strumentale del movimento nei suoi aspetti legati all'equilibrio e la postura .

Per i sistemi *lineari*, una minima variazione dello stato iniziale dello stesso (fisico , chimico , biologico , economico) provoca una *variazione* corrispondentemente *minima* nel suo stato finale .

Ad esempio, se colpisco al biliardo una palla un poco più , o meno con la stecca , il suo urto contro un'altra ne determinerà un suo spostamento un poco più o meno sul panno .

Diversamente per un *sistema non lineare* , piccole differenze nelle condizioni iniziali producono *differenze non prevedibili* nel *comportamento* successivo .

Ad esempio , un soggetto sottoposto ad analisi stabilometrica ad occhi aperti se inspira profondamente o deglutisce prima di iniziare la prova , non sappiamo di quanto (numericamente : lunghezza della traccia , area sottesa) e come (qualitativamente : statochinesigramma, stabilogramma) varierà il suo comportamento motorio sulla pedana nei secondi della durata della prova.

E' impossibile prevedere il comportamento che un sistema *caotico* avrà dopo un intervallo di tempo anche breve .

L'*epistemologia delle complessità* è una branca dell'epistemologia che studia i *sistemi complessi* ed i fenomeni *emergenti* associati .Gli organismi viventi sono dei sistemi complessi , costituiti da *elementi* che subiscono continue modifiche , *singolarmente prevedibili* , ma di cui non è possibile , o è molto difficile *prevedere* uno stato futuro .

Gli oggetti dei sistemi complessi, *interagiscono, adattandosi ed evolvendo* , sviluppando una forma di *autorganizzazione* che consente al sistema stesso di avere *proprietà collettive* che non sono proprie dei singoli agenti e sono dette *proprietà emergenti*. Queste proprietà non rappresentano mai la *somma dei singoli elementi*.

Tali sistemi si pongono nella regione conosciuta come *margini del caos*. Cioè posta tra la *stabilità* ed il *caos* .

Se si mettono in relazione i termini di *equilibrio* con *genotipo*, *postura* con *fenotipo*, *comportamento motorio* con *proprietà emergenti* , possiamo confermare che se l'organizzazione delle molecole di un organismo conferiscono *l'essenza vitale* allo stesso , questo è dovuto al *genotipo*.

L'organizzazione dei componenti di un organismo può farne assumere delle capacità *computazionali*. Pertanto, l'attuazione di una serie di *regole di base* (genotipo) tramite la computazione , produce una *struttura* (fenotipo-postura) da cui deriva un comportamento .

Le regole possono a loro volta essere state *predefinite* o *apprese*, e salvo che non siano banali sarà impossibile prevederne i risultati e i comportamenti se non a livello statistico.

Nella *definizione* poi della complessità del sistema dove non si intendono le sue *proprietà intrinseche oggettive* , ma le *proprietà dell'insieme* costituito dal *soggetto osservatore* (chi crea il modello) ed il *modello stesso* , sorge un altro problema che si aggiunge ad una delle molte tematiche fondamentali dell'*analisi del movimento* come : la teoria dei *modelli* , e l'aspetto *stocastico* .

Nell'attuale pensiero contemporaneo, la complessità dal punto di vista epistemologico comporta che ci sia una nuova collaborazione fra scienza e filosofia.Un rinnovato modo di fare *ricerca scientifica* usando i computer , la simulazione , utilizzando l'approccio *bottom-up*.

Si pone in tal senso l'*evoluzionismo* sotto nuova luce, cercando di fare abbandonare l'idea che sia il *progresso* a favorire l'evoluzione .

Tornando al sistema equilibrio, anch'esso è più complesso, quanto maggiori sono le *costanti arbitrarie* per poterlo descrivere .

Come detto, la complessità di un sistema non è una sua proprietà intrinseca, ma si riferisce sempre ad una sua *descrizione* e quindi dipende dal *modello* utilizzato e dalle sue *variabili* (indicatori) accreditate .

L'obiettivo della teoria delle complessità è di *comprendere* il comportamento dei sistemi complessi caratterizzati da *elementi numerosi e diversi* tra loro, con *connessioni multiple e non lineari*.

L'uomo è un *sistema complesso adattivo* in grado di *adattarsi, cambiare per esperienza*, con *capacità di evoluzione* .E' in ultima analisi un *instabile aggregato* di *agenti e connessioni autorganizzati* , e per garantirsi l'adattamento , ridefinisce costantemente il suo rapporto con l'ambiente (co-evoluzione) .

Adottando la teoria dei sistemi, l'equilibrio può essere considerato come una *identità* che è possibile analizzare e scomporre in quanto presenta caratteristiche *variabili* , o *costanti* .

Se lo rappresentiamo come una scatola con degli *ingressi* (es.segnali posturografici , U) , lo pensiamo anche con delle *uscite* (Y) . Il suo *stato* sarà pertanto descritto da un *insieme* di variabili , dette di stato (X) .

Gli ingressi (input), visivo, propriocettivo, uditivo, cognitivo, agiscono sullo stato del sistema e ne modificano le caratteristiche che sono *registrate* e *elaborate* dalle variabili di stato (sistema neuroendocrino, sistema cardiorespiratorio, sistema muscolo-scheletrico, SNC, SNP).

I valori delle uscite (Y), uniche variabili misurabili (ad esempio: superficie dell'ellisse, lunghezza della traccia, semipasso, Fourier ecc.) dipendono dalle variabili di stato e dagli ingressi, dandoci in fine ultimo, informazioni sui vari organi ed apparati.

Nello studio dell'equilibrio e della postura si fissa e analizza sempre il *tempo* (T). Nel lasso di tempo (*insieme ordinato di istanti*) si considera una *serie* di *istanti* particolari.

Con *ordinato* si intende *che prendendo degli elementi qualsiasi, si può stabilire con certezza quale dei due precede l'altro*.

In sintesi gli elementi per studiare il sistema equilibrio-postura possono essere rappresentati da una sestupla di dati come: $S=(T,I,U,X,f,g)$.

Dove si intende per:

- $T=\{t_0,t_1,\dots,t_i\}$ insieme ordinato del tempo (ad es. tempo di misurazione ad OA o OC a 30" o 51")
- $I=\{i_0,i_1,\dots,i_i\}$ insieme delle variabili di ingresso (vista, udito, proprioccezione, cognizione)
- $U=\{u_0,u_1,\dots,u_i\}$ insieme delle variabili di uscita (comportamento motorio su pedana: oscillazioni sagitto-frontali o latero-laterali, strategie, compensi)
- $X=\{x_0,x_1,\dots,x_i\}$ insieme delle variabili di stato (apparato neuroendocrino, cardiorespiratorio, muscolo-scheletrico, SNC, SNP)
- $f=\{T,I,U,X\}$ equazione di stato (correla lo stato interno del sistema con un determinato istante: es. Indice di Interferenza Cervicale, Indice di Romberg, Indice Biomedico Posturale); $X(t_i) = f[X(t_0), I(t_0, t_i)]$
- $g=g(T,I,U,X)$ equazione di uscita; calcola l'uscita nel tempo t_i . Ad es. Romberg semiquantitativo, classificazione dell'instabilità; $U(t_i) = g[X(t_i), in(t_i)]$

L'importanza dell'epistemologia delle complessità, trae la sua origine dal conflitto nel rapporto scienza-filosofia. Attraverso la *scienza cognitiva*, nella seconda metà del XIX° secolo, neuroscienziati, informatici, filosofi della mente, linguisti, psicologi, antropologi, iniziavano a costruire *modelli comportamentali* dell'attività psichica per rispondere a domande complesse.

All'elaborazione della *teoria della complessità* contribuiscono istituti di ricerca dove assieme lavorano neurobiologi, filosofi della mente, informatici, epistemologi e chimici.

Si parla della nascita di una *terza cultura*, alternativa a quella umanistica e scientifico-tecnologica. Per fare degli esempi, secondo questi studiosi una classificazione dei sistemi potrebbe essere:

- complessità minima (non vivente)
- complessità media (computer)
- complessità massima (vivente)

La scienza cognitiva ha utilizzato modelli comportamentali che procedono dall'*alto al basso*. Il modello è costruito sulla *conoscenza globale* che si ha del sistema stesso, come si comporta, a quale leggi ubbidisce.

Si studia un sistema partendo dalle sue *competenze* trascurando inizialmente i *dettagli* delle prestazioni delle singole parti.

La teoria della complessità procede invece dal *basso all'alto*. Il modello del sistema si costruisce in base alla *conoscenza locale*, come e quante sono le sue componenti, come interagiscono, a quali leggi ubbidiscono.

Per i sistemi complessi, la misurazione delle loro variabili, implica che essendo la loro *distribuzione* molto *asimmetrica* il loro *valore medio* non fornisce mai *informazioni* soddisfacenti sulla *variazione* di complessità. ' il *valore modale* e non quello medio che misura la *tendenza principale* (in una distribuzione di frequenza , la *moda* è il valore della variabile indipendente cui corrisponde la *frequenza più elevata*).

Le implicazioni pratiche sono importanti. Intanto la scelta degli indicatori , non può essere casuale ma derivare da una loro attenta scelta che ubbidisca ai seguenti requisiti :

1. loro calcolo statisticamente attendibile
2. scelti in base al tipo di applicativo in uso
3. devono consentire la formulazione di una ipotesi e il suo controllo a distanza nel tempo
4. devono consentire di modificare la scelta terapeutica
5. devono conferire un valore aggiunto a tutto il percorso
6. non devono essere fini a se stessi (2)

Lunghezza della traccia

La *lunghezza della traccia* è la misurazione lineare (in mm o cm) di quanta strada compie il centro di pressione durante la prova (CoP) , a causa delle oscillazioni posturali dell'individuo nel piano sagitto-frontale . E' un indicatore di *dispendio energetico* .

Il CoP é in pratica il punto in cui è localizzato il vettore risultante della reazione vincolare della superficie su cui è appoggiato il corpo. E' totalmente indipendente dal COM. Se un solo piede è appoggiato sul terreno il CoP si troverà in un punto all'interno del piede stesso; se invece entrambi i piedi sono appoggiati al suolo la posizione del CoP varierà e sarà in un punto non meglio precisato compreso però fra i due piedi, spostato verso destra o sinistra in relazione alla distribuzione dei pesi. Nella posizione seduta , con il tronco eretto, gli arti superiori appoggiati sulle ginocchia, il bacino a contatto della seduta con entrambi i femori divaricati a 30° e gli arti inferiori a 90° alle ginocchia con i piedi aderenti al terreno, il CoP deve trovarsi all'interno del tronco, davanti la colonna vertebrale e proiettato all'interno del crurogramma ottenuto come da postura sopra descritta .

Lo *statochinesigramma* é la *graficazione digitalizzata* dello spostamento reale del centro di pressione con riferimento all'appoggio plantare, è detto anche *gomitolo posturale*. Grandezze legate direttamente allo statochinesigramma sono i parametri di superficie e la lunghezza.

Il controllo della postura eretta può essere descritto riferendosi a un modello tipo *pendolo inverso*. Le variabili che intervengono nel fenomeno sono:

- Centro di massa (COM) la cui posizione in direzione antero-posteriore è indicata da y
- Centro di pressione (COP) la cui posizione in direzione antero-posteriore è indicata da u
- Forza di gravità (applicata al COM)
- Reazione del terreno F (applicata al COP)
- $m\tau$ Coppia muscolare alla caviglia

Il COM non è mai perfettamente immobile, ma soggetto ad un'accelerazione. L'accelerazione del COM è proporzionale alla differenza u-y: dove la costante k dipende dalle caratteristiche fisiche del soggetto e dall'accelerazione di gravità. L'instabilità deriva dal fatto che u e y non coincidono mai perfettamente. L'accelerazione del COM genera una forza d'inerzia che è equilibrata dalla componente orizzontale della reazione del terreno FH.

Anche durante il mantenimento della postura eretta in condizioni di quiete, ci sono continue oscillazioni del COM e del COP sulla base di appoggio. Gli spostamenti del COM implicano un effettivo movimento di tutta la massa corporea. Gli spostamenti del COP sono determinati dalla coppia muscolare della caviglia e quindi non implicano alcun movimento.

Il controllo della postura eretta richiede continuamente un inseguimento reciproco di COM e COP. Per portare a coincidere COM e COP si possono attuare due principali strategie di controllo:

- Agire sul COP modulando l'attivazione dei muscoli della caviglia (strategia di caviglia)
- Agire sul COM mediante spostamenti relativi di parti del corpo (strategia di anca)

Nella *strategia di caviglia* la modulazione della coppia muscolare alla caviglia controlla direttamente e velocemente il COP; l'azione sul COM è meno importante. Permette di compensare minime perturbazioni dell'equilibrio. Richiede una buona capacità muscolare.

Nelle *strategie di anca* lo spostamento della pelvi e del tronco controlla direttamente la posizione del COM. Permette di compensare moderate perturbazioni dell'equilibrio. Richiede un minore sforzo muscolare.

Per compensare maggiori perturbazioni dell'equilibrio in stazione eretta statica possono essere attuati i cosiddetti compensi come l'allargamento della base di appoggio, degli arti superiori con ricerca di appoggio.

Esistono tre possibili meccanismi di stabilizzazione, che intervengono contemporaneamente:

- meccanismo fisico, legato alla stiffness muscolare
- meccanismo reattivo, si tratta di un controllo in catena chiusa o a feedback, che agisce in reazione a diversi tipi di riflessi agenti in modo indipendente
- meccanismo anticipativo, si tratta di un meccanismo di controllo in catena aperta o a feedforward basato su un modello interno di fusione sensoriale e di predizione della dinamica

La *stiffness* muscolare è la rigidità elastica KA propria dei tessuti muscolari. Produce una coppia proporzionale all'angolo di oscillazione: $CA=KA \square$

Si può confrontare la coppia fornita alla caviglia dalla stiffness muscolare con la coppia statica gravitazionale (valore di riferimento): $CG=mgh \square$ (dove h è l'altezza del COM).

Indicativamente la coppia prodotta dalla stiffness dei muscoli della caviglia è inferiore al valore di riferimento di circa il 50%. La stiffness muscolare non è quindi sufficiente a stabilizzare da sola la postura eretta.

Il controllo a *feedback*, è un meccanismo che cerca di mantenere l'equilibrio basandosi su informazioni sensoriali (afferenze) riguardanti la posizione delle varie parti del corpo. Sono così generate azioni muscolari sulla base di informazioni visive, vestibolari, propriocettive e tattili.

Nel controllo *feedforward* le afferenze sensoriali non sono direttamente inviate al sistema neuromotorio ma a un centro neurale associativo che si basa su un modello interno della biomeccanica e della fisica del mondo esterno. Le diverse azioni muscolari sono generate in anticipo rispetto agli eventi, in previsione degli effetti presunti. È un controllo basato su *meccanismi di apprendimento* e di *memoria* ed è *adattabile alle diverse condizioni ambientali*. La predizione è efficace soltanto se i disturbi sono prevedibili e la loro dinamica (esperienza) è già stata appresa dal soggetto.

Il controllo della postura eretta, così come della posizione seduta e di ogni altra funzionalità motoria, richiede l'intervento di tre sistemi fisiologici:

- sistema sensoriale
- sistema di controllo centrale
- sistema di azionamento muscolare

I tre sistemi sono complessi ed interfacciati. Nell'età anziana la funzionalità dei tre sistemi degrada determinando varie difficoltà.

Con l'avanzare dell'età la funzionalità dei tre sistemi fondamentali nel controllo posturale tende a ridursi:

- 1) la visione diminuisce in acutezza, sensibilità del contrasto e percezione della profondità
- 2) il sistema vestibolare subisce cambiamenti che determinano vertigini e instabilità
- 3) ci può essere una diminuzione delle capacità propriocettive;
- 4) le informazioni sensoriali sono rallentate
- 5) la velocità della conduzione nervosa è rallentata
- 6) la forza muscolare diminuisce
- 7) aumenta la rigidità dei tessuti connettivi
- 8) diminuisce la mobilità delle articolazioni (3)

Clinicamente, la lunghezza della traccia (4,5,6) ci consente di graduare il *dispendio energetico* secondo una classificazione come da tabella allegata per misurare l'instabilità in stazione eretta statica.

Tab.1 Classificazione dell'instabilità in stazione eretta statica a 30", frequenza di rilevamento 20 Hz

	AsOA Grado di precisione/compenso	LTOA Grado di dispendio energetico	AsOC	LTOC	AsOACR	LTOACR	AsOCCR	LTOCCR
Normale	<117	<306,72	<136,92	<342,5	<93,15	<349,65	<193,53	<894,51
Borderline	117,01-175,59	306,73- 460,17	136,93- 206	342,6-513,82	93,16- 140,44	349,66- 524,52	193,54- 291,80	894,52- 1350,78
Lieve	175,6-288,9	460,18- 763,11	206,1- 338,97	513,83-1027,78	140,45- 231,25	524,53- 966,42	291,81- 480,48	1350,79- 2488,17
Media	289-405,135	763,12- 1066,77	338,98- 594,19	1027,78- 1707,36	231,26- 321,16	966,43- 1421,91	480,49- 667,30	2488,18- 3660,41
Grave	405,136-463,05	1066,78- 1219,23	594,2- 679,14	1707,37- 2081,55	321,17- 367,06	1421,91- 1649,7	667,31- 762,67	3660,42- 4296,59
Gravissima	463,06-oltre	1219,24- oltre	679,15- oltre	2081,56-oltre	367,07- oltre	1649,8- oltre	762,68- oltre	4296,6- oltre

Legenda : As = area sottesa in mm² , LT= lunghezza della traccia in mm OA = occhi aperti OC= occhi chiusi
CR= capo retroflesso

Tab.2 Classificazione dell'instabilità in stazione eretta statica a 51.2" frequenza di rilevamento 20 Hz

	AsOA Grado di precisione/compenso	LTOA Grado di dispendio energetico	AsOC	LTOC	AsOACR	LTOACR	AsOCCR
Normale	<44,25	<527,16	<169,28	<677,82	<35,19	<600,96	<239,26
Borderline	44,25-66,33	527,17- 790,97	169,29- 254,68	677,83-1016,88	35,19- 53,05	600,97- 901,53	239,27-360,76
Lieve	66,34-109,14	790,98- 1311,67	254,69- 419,08	1016,89-2034,08	53,06- 87,36	901,54- 1661,11	360,77-594,04
Media	109,15-153,05	1311,68- 1833,65	419,09- 734,64	2034,09-3379,03	87,37- 121,32	1661,12- 2444,07	594,05-825,02
Grave	153,06-174,93	1833,66- 2095,63	734,65- 839,66	3379,04-4119,57	121,33- 138,66	2444,08- 2835,65	825,03-942,92
Gravissima	174,94-oltre	2095,64- oltre	839,67- oltre	4119,58-oltre	138,67- oltre	2835,66- oltre	942,92-oltre

Legenda : As = area sottesa in mm² , LT= lunghezza della traccia in mm OA = occhi aperti OC= occhi chiusi
CR= capo retroflesso

Usò clinico

La lunghezza della traccia è uno degli indicatori fondamentali in uso in stabilometria. Deve sempre essere misurato.

È indice indiretto del dispendio energetico attuato per mantenere la postura e l'equilibrio.

L'equilibrio del nostro corpo nelle sue molteplici articolazioni dipende da una fine neutralizzazione della forza di gravità per opera di forze contrarie.

In piedi, il consumo di energia avviene quando la linea verticale della gravità passa per un pilastro osseo inattivo di sostegno. Il corpo umano si avvicina con discontinuità a questa situazione ideale. Nel corpo umano le ossa sono una serie di segmenti collegati da articolazioni e tenuti in posizione diritta da muscoli, legamenti, capsule. Se questi sono disposti in modo tale che la linea di gravità passi direttamente per il centro di ogni articolazione, le sollecitazioni meccaniche sui muscoli e legamenti, capsule saranno minime.

È stato stabilito (Steindler,1955) che un equilibrio completo passivo è impossibile in quanto i baricentri dei segmenti ed il movimento dei centri tra loro non possono essere tali che tutti coincidano perfettamente con una linea di gravità comune. Se i baricentri di ciascun segmento corporeo sono allineati uno sull'altro e questi, a loro volta, sono in linea con le rispettive articolazioni, la forza necessaria a mantenere questa posizione è zero. Se la linea di gravità passa per le articolazioni di appoggio, il braccio di leva dovrebbe essere zero senza momenti, ma solo una forza lineare verso il basso. Tuttavia un poco che il baricentro del segmento si sposta da questa linea, si viene a determinare un momento. Quanto maggiore è lo spostamento, tanto maggiore è il momento. Per restare in equilibrio, si deve esercitare una forza tale da creare un momento uguale in ampiezza e in direzione opposta. I muscoli devono contrarsi attivamente e i legamenti sono sottoposti a tensione per bilanciare la cattiva posizione dei segmenti corporei. Per mantenere la stabilità la linea di gravità dell'intero corpo deve stare nella base di appoggio. Nella posizione seduta, la base di appoggio è data dal cosiddetto crurogramma.

Bibliografia

- 1) Susan Barry. A scientist's journey into seeing in three dimensions. Basic Books, New York, NY 2009.
- 2) Schiffer R. Stabilometria Clinica. Edi Ermes, Milano, 2015
- 3) <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/it/>

- 4) Hearing as an Independent Predictor of Postural Balance in 1075 Patients Evaluated for Dizziness. Berge JE, Nordahl SHG, Aarstad HJ, Goplen FK. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019 Sep;161(3):478-484. doi: 10.1177/0194599819844961. Epub 2019 Apr 23.
- 5) Previous physical activity and body balance in elderly people. Famuła A, Nowotny-Czupryna O, Czupryna K, Nowotny J. *Biol Sport.* 2013 Dec;30(4):311-5. doi: 10.5604/20831862.1077558. Epub 2013 Nov 25.
- 6) Postural stability changes during large vertical diplopia induced by prism wear in normal subjects. Matsuo T, Yamasaki H, Yasuhara H, Hasebe K. *Acta Med Okayama.* 2013;67(3):177-83.