

**Elettroencefalografia in condizioni
normali e patologiche
dott. Vittorio Govoni**

corso di laurea in Medicina e Chirurgia

V° anno

insegnamento di Neurologia

AA. 2014-2015

Elettroencefalografia

**attività dei neuroni cerebrali corticali
è coordinata così da indurre variazioni
di campo elettrico registrabili da
elettrodi posti sul capo (Berger, 1924)**



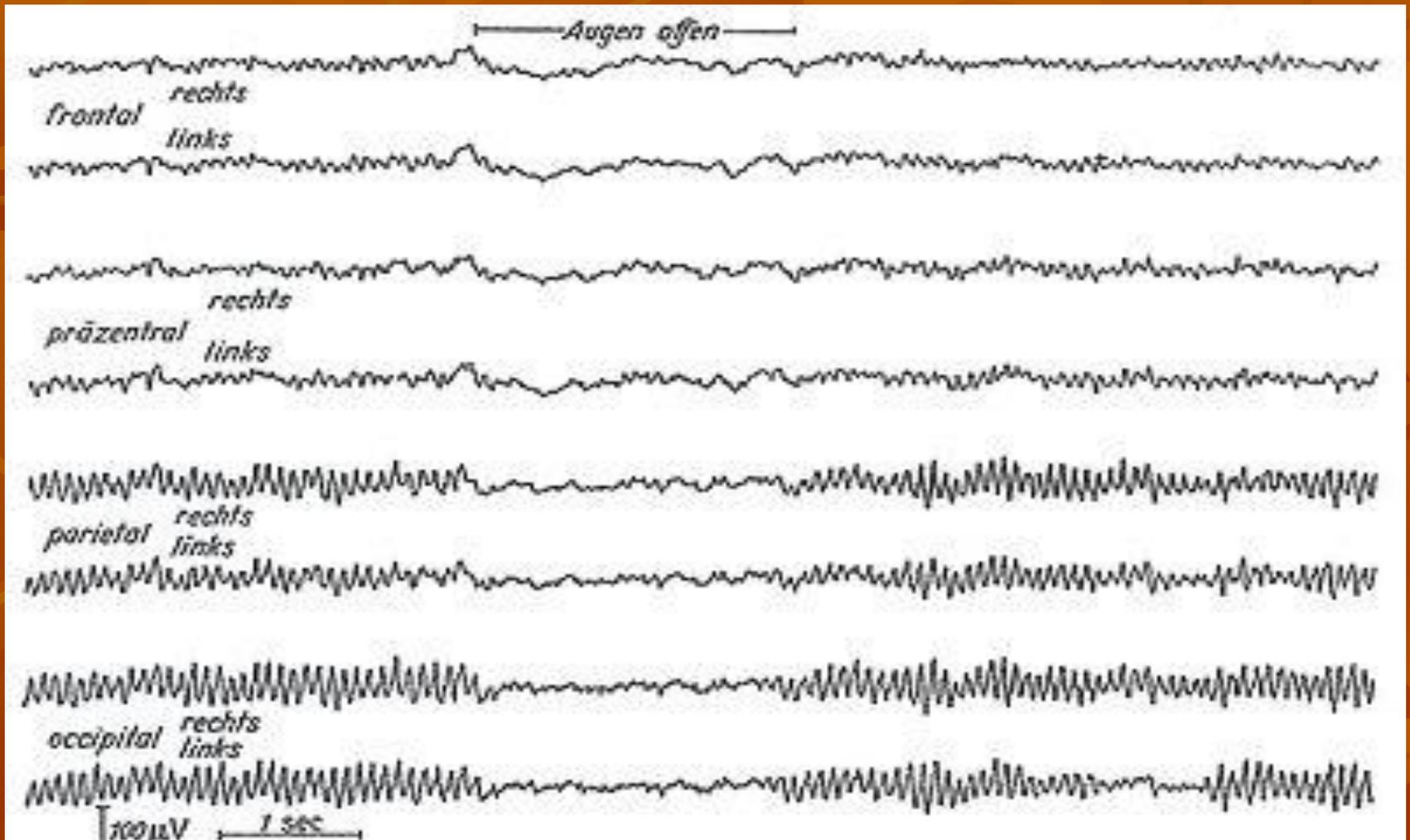
Elettroencefalografia di superficie

**registrazione sistematica delle variazioni di
potenziale raccolte da elettrodi posti
simmetricamente sui due lati del capo**

Elettroencefalografia di superficie

**registrazione multicanale dell'attività
elettrica di superficie del cervello (canali
longitudinali superiori e inferiori, canali
trasversali, anteriori medi e posteriori)**

EEG normale



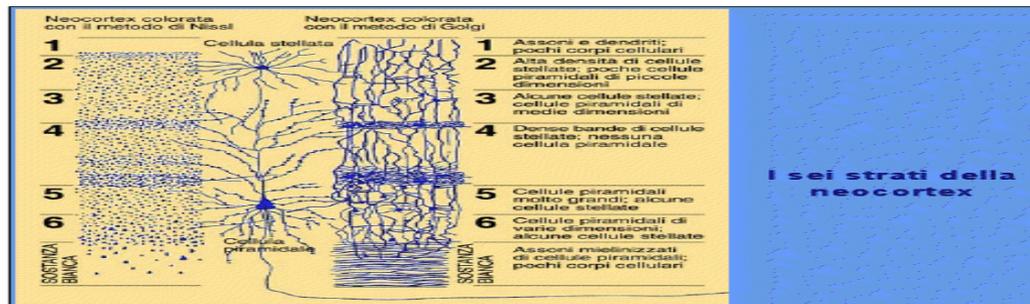
basi fisiologiche

complesse e non del tutto chiarite

i principali neuroni corticali sono orientati

secondo un asse perpendicolare alla

superficie cerebrale



I sei strati della neocortex

L'ELETTROENCEFALOGRAMA (EEG)

L'EEG ha origine dal lavoro di un fisiologo inglese, Richard Caton (1875), che registrò, usando uno strumento rudimentale, l'attività elettrica dalla superficie del cervello di cani e conigli.

L'EEG umano venne descritto per la prima volta dallo psichiatra austriaco Hans Berger nel 1929, il quale aveva notato la notevole differenza degli EEG tra gli stati di veglia e di sonno.

Inizialmente, l'EEG è stato utilizzato come ausilio nelle diagnosi di determinate condizioni neurologiche (epilessia) per scopi di ricerca, essenzialmente negli studi sul sonno. Oggi il suo utilizzo è decisamente più ampio...

basi fisiologiche

i dendriti dei principali neuroni

corticali si espandono negli strati

corticali superficiali, l'assone si dirige

in profondità nella sostanza bianca

basi fisiologiche

corpo cellulare e dendriti dei neuroni corticali ricevono un gran numero di segnali afferenti eccitatori e inibitori che si sommano sulla membrana cellulare

basi fisiologiche

se la depolarizzazione della regione vicina all'origine dell' assone raggiunge il livello soglia si produce la *scarica neuronale* (scarica efferente di potenziali d'azione propagati a distanza lungo l' assone)

basi fisiologiche

le influenze sinaptiche sul corpo
cellulare hanno effetto diretto sulla
produzione della *scarica propagata*
efferente

basi fisiologiche

**le influenze sinaptiche sui dendriti
hanno un effetto indiretto modulando
la *soglia* di eccitabilità del neurone
la probabilità di rispondere con una
scarica propagata efferente a un dato
eccitamento afferente**

basi fisiologiche dell'EEG di superficie

**somma delle attività unitarie che si
svolgono in una vasta popolazione di
neuroni sottostanti l'elettrodo**

basi fisiologiche

i *ritmi* permanenti dimostrano che

l'attività dei neuroni corticali non è

anarchica ma coordinata da sistemi di

sincronizzazione

basi fisiologiche

sincronizzazione dei neuroni corticali è

massima nelle *figure epilettiformi*

(figure rapide di grande ampiezza)

figure epilettiformi

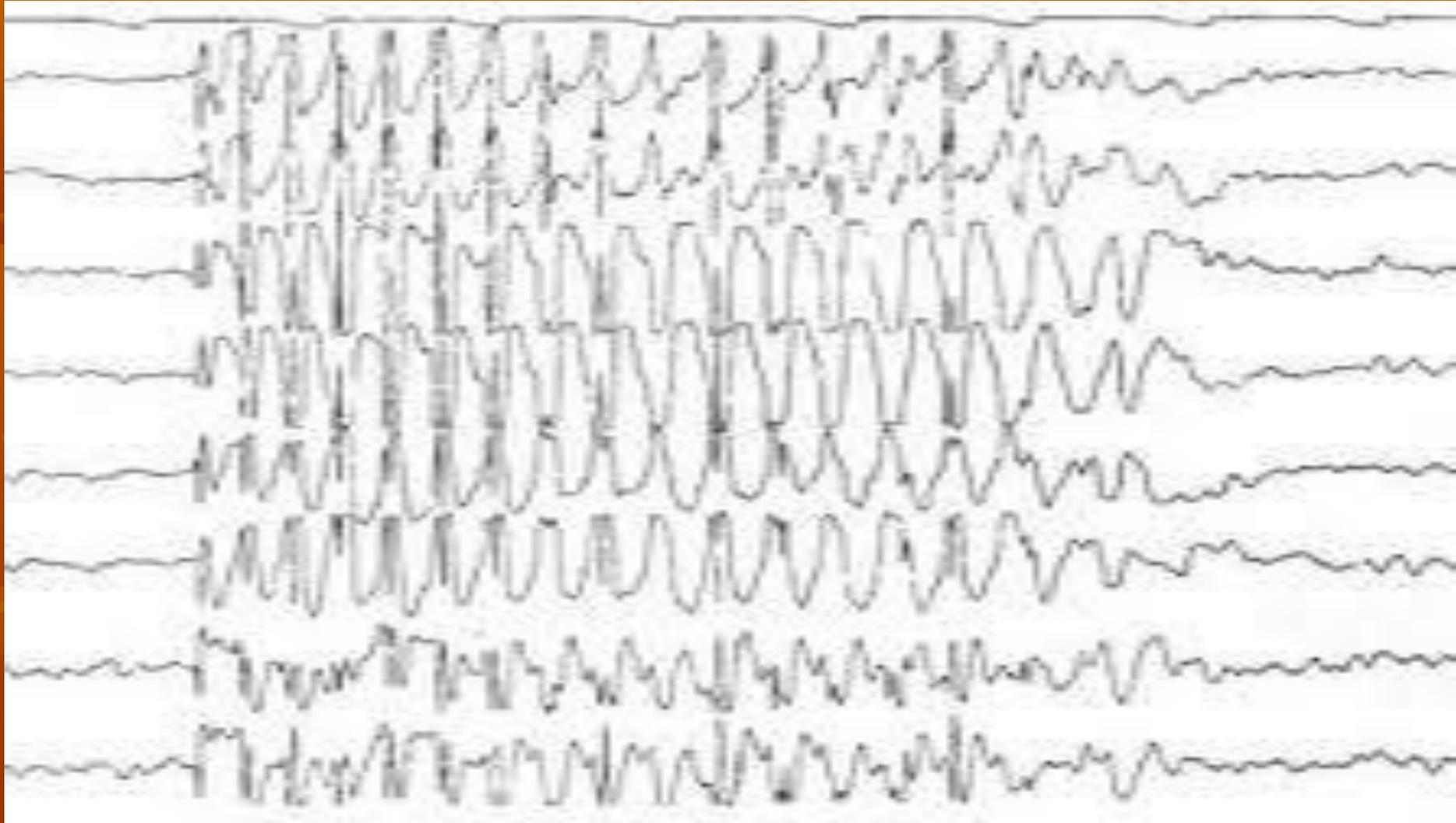


figure epilettiformi

sincronizzazione della scarica di una
vasta popolazione di neuroni corticali
(*scarica anomala ipersincrona*)

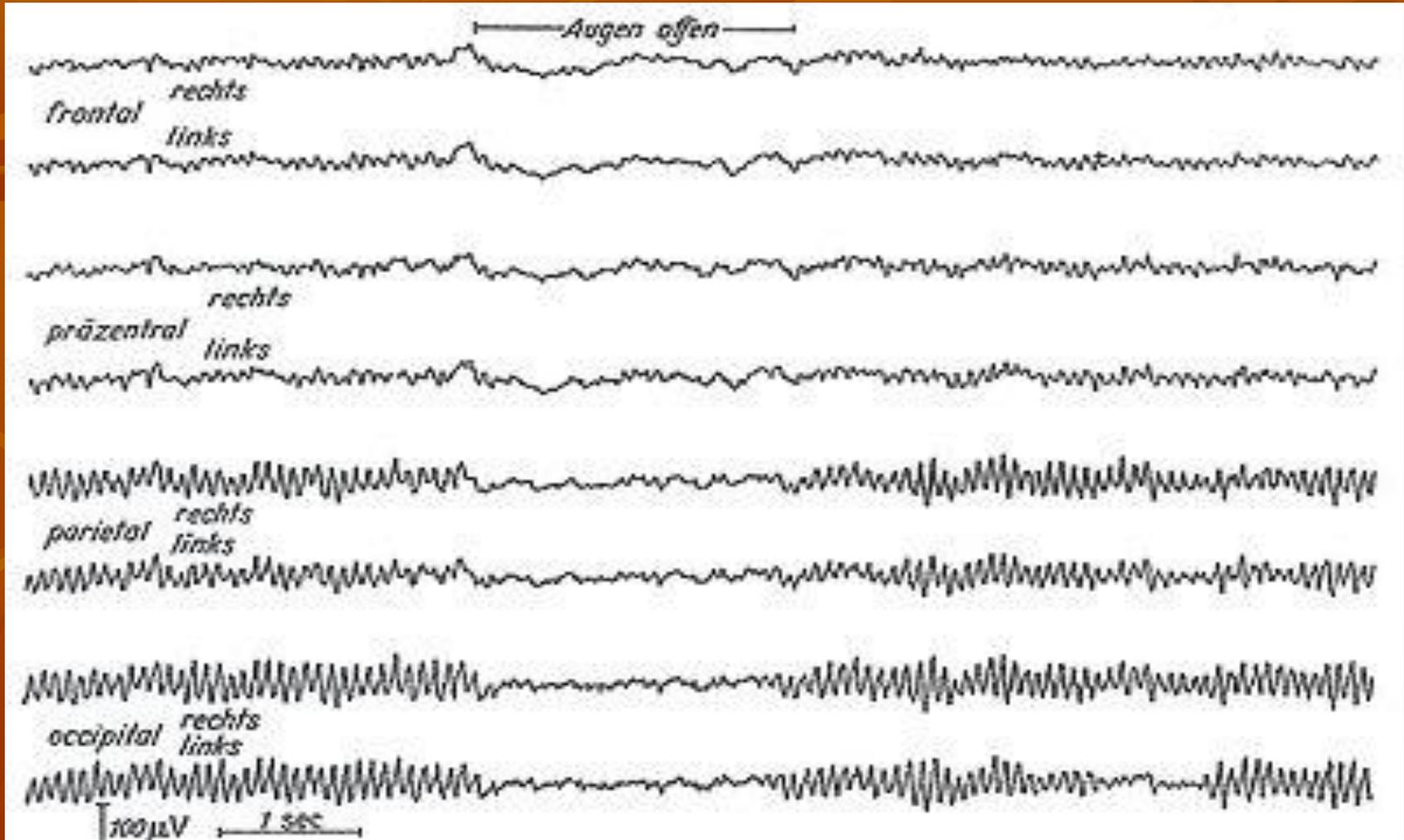
ritmi permanenti

derivano da variazioni periodiche della polarizzazione dei dendriti dei neuroni corticali (*modulazione*) indipendente dall'attivazione specifica dei neuroni corticali (*scarica propagata efferente*)

ritmi permanenti

variazioni periodiche della polarizzazione dei dendriti dei neuroni corticali (*modulazione*) che viene interrotta da una *scarica* afferente (*reazione d'arresto*)

EEG normale



ritmi permanenti dell'EEG

modulazione dipende da effetti sinaptici

eccitatori e inibitori sui dendriti la cui

fonte principale sono gli interneuroni

corticali

ritmi permanenti dell'EEG

attività corticale sottoposta al controllo

di sistemi sottocorticali profondi

paramediani a *proiezione diffusa*

modificazioni nel sonno

in sequenza *rallentamento* progressivo

dei bioritmi cerebrali, comparsa di

***onde aguzze* al vertice, *fusi* del sonno e**

***complessi K* (attività sincrone**

altamente organizzate)

tecnica di registrazione

ordine di grandezza degli eventi è di 10-100

microvolt che ha richiesto lo sviluppo di

sistemi di *amplificazione*

metodo di esplorazione standardizzato

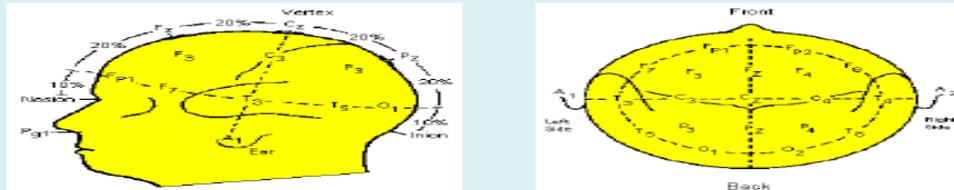
(*sistema internazionale 10-20*)

tecnica di registrazione

**da 20 a 30 elettrodi sono posti
simmetricamente sui due lati del capo**

**un sistema di commutatori consente di
selezionare diverse combinazioni di
derivazioni tra gli elettrodi (*montaggi*)**

Sistema standard di posizionamento degli elettrodi sul cranio



Gli elettrodi vengono applicati in base a coordinate standard, il cosiddetto Sistema Internazionale 10-20 introdotto dalla International Federation of Electroencephalography nel 1958.

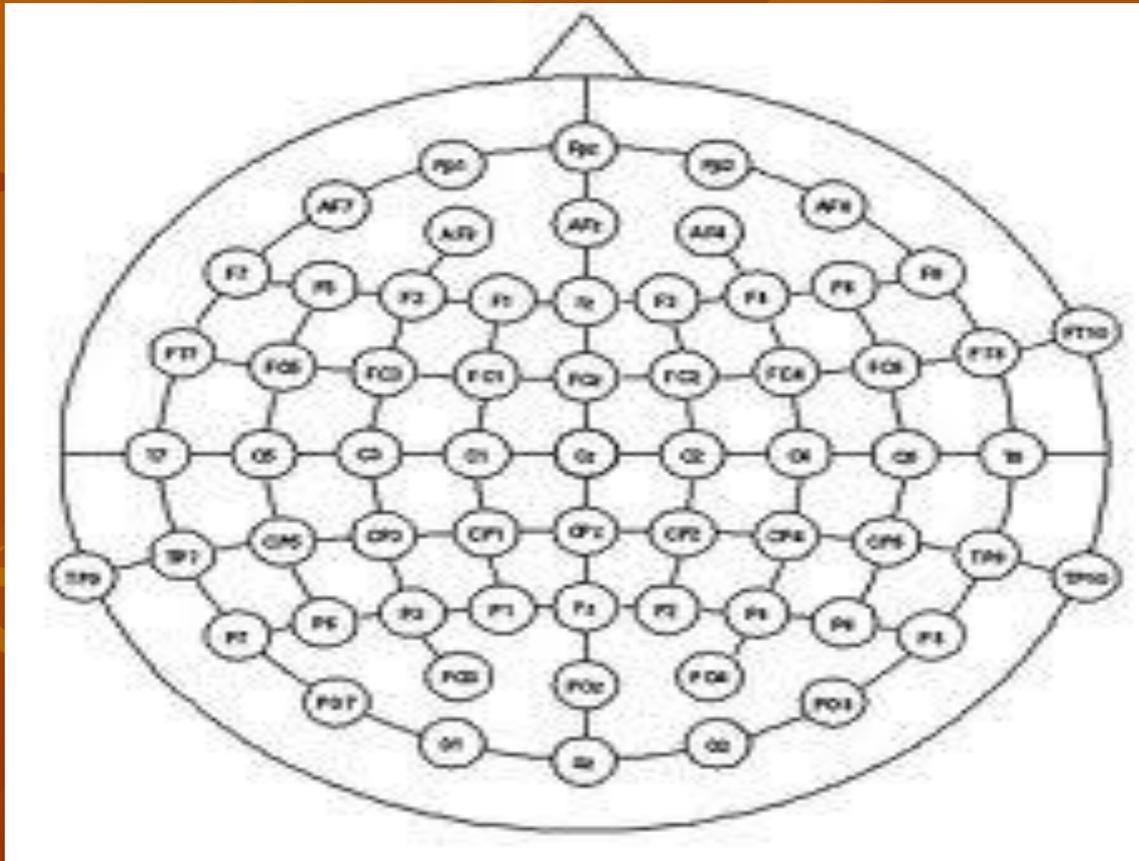
In base all'area cerebrale sottostante, gli elettrodi vengono indicati con sigle diverse : **F** se sono posizionati sull'area frontale, **P** su quella parietale, **C** sulla centrale, **T** temporale e **O** sull'area occipitale; in base alla mediana vengono distinti con **numeri pari se si trovano a destra e dispari se si trovano a sinistra**; con **Z**, invece, si identificano elettrodi in posizione mediana. In questo modo ad ogni elettrodo corrisponde una regione ben precisa del nostro cervello.

Origine delle onde EEG

Sebbene i potenziali d'azione possano sembrare la fonte più ovvia dei potenziali elettrici registrati mediante l'EEG, di fatto essi contribuiscono poco, se non nulla, ai potenziali registrabili dallo scalpo.

I segnali EEG sono prodotti quasi esclusivamente dai potenziali postsinaptici (eccitatori o inibitori).

Sistema 10-20



modalità di registrazione

modalità abituale *bipolare* con elettrodi

in serie lineari *longitudinali* (4 canali

superiori e 4 inferiori per lato) e

trasversali (2 canali anteriori, 2 medi e

2 posteriori per lato)

modalità di registrazione

modalità *monopolare* ogni elettrodo è collegato a un elettrodo di riferimento comune

bioritmi cerebrali

variazioni periodiche dei potenziali

registrati meglio definiti dalla frequenza

che dall'ampiezza (voltaggio)

bioritmi cerebrali

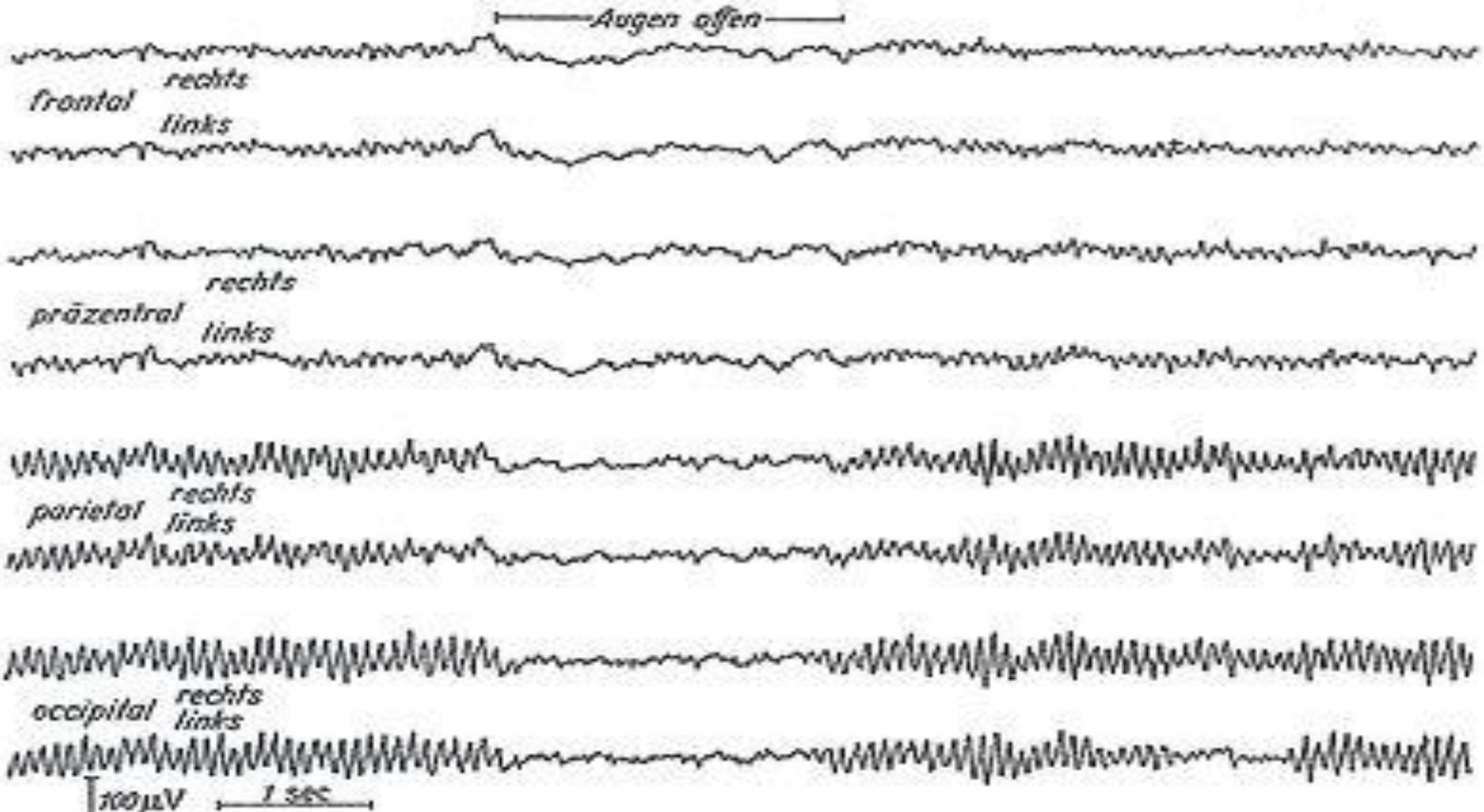
- ritmo *alfa* (8-13 Hz) in stato di riposo (veglia rilassata a occhi chiusi) e attività mentale leggera

ritmo alfa

si registra in regione parieto-occipitale
e temporale posteriore

viene interrotto dall'apertura degli
occhi in modo sincrono e simmetrico
(*reazione d'arresto*)

EEG normale



bioritmi cerebrali

sulle regioni più anteriori (frontali) si registrano ritmi più rapidi di minore voltaggio (banda *beta*, maggiore di 13 Hz)

bioritmi cerebrali

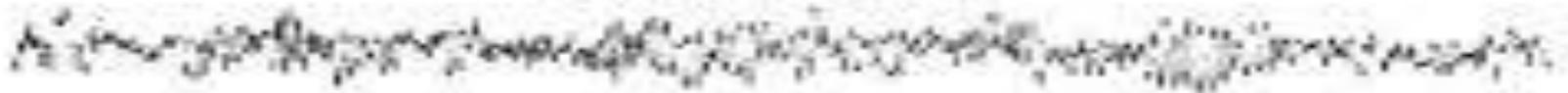
dalle derivazioni temporali si registra spesso un ritmo di frequenza inferiore in banda *theta* (a 4-7 Hz) più ampio dei ritmi *beta* anteriori

bioritmi cerebrali

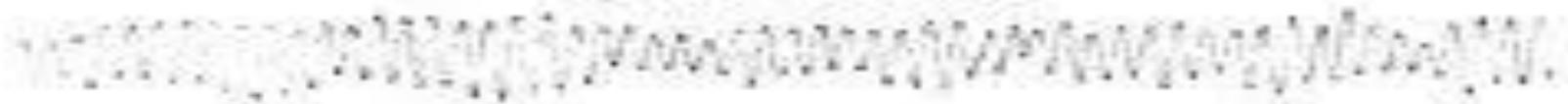
in certi stati patologici si osservano in veglia ritmi di minore frequenza (inferiori a 4 Hz) di varia ampiezza (banda *delta*)

bioritmi cerebrali

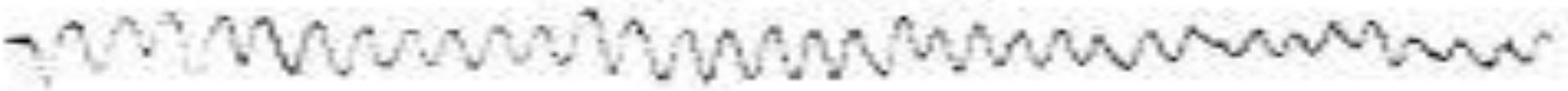
Beta > 13 Hz



Alpha 8-13 Hz



Theta 4-7 Hz



Delta < 4 Hz



EEG normale

un adulto in stato di veglia rilassata

con gli occhi chiusi presenta una

attività di fondo posteriore in banda alfa

EEG normale

bilaterale, simmetrica, sincrona e stabile

asimmetrie di frequenza sono più importanti delle asimmetrie di voltaggio

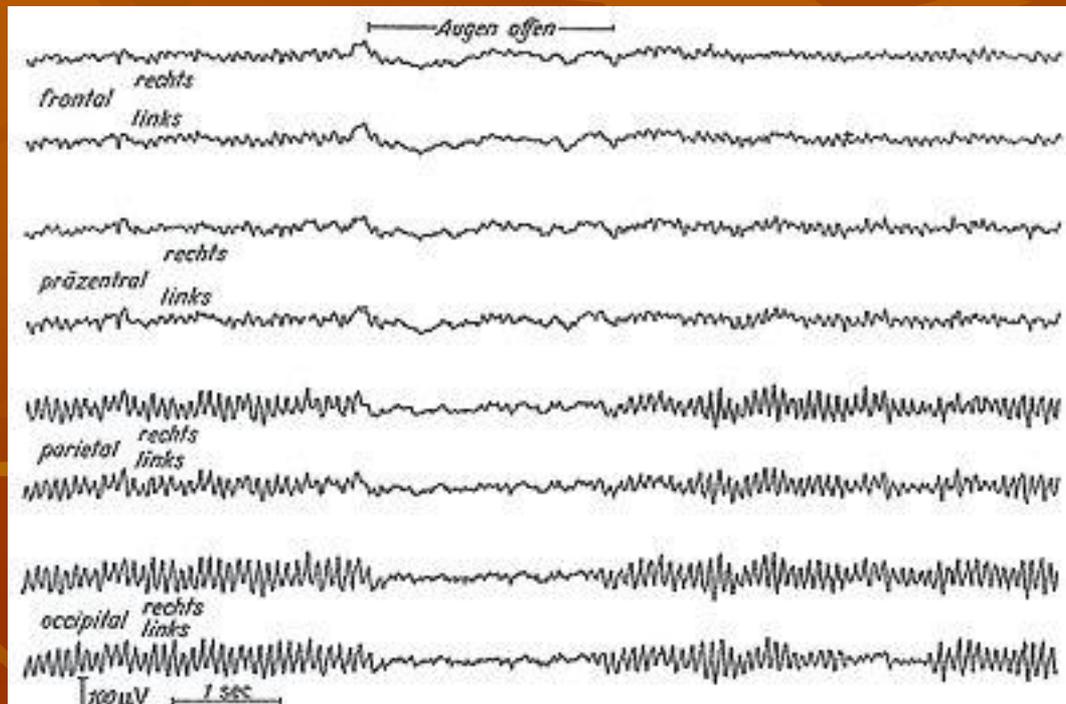
EEG normale

ritmi *beta* si registrano sulle regioni anteriori, i ritmi *theta* si possono registrare sulle regioni temporali spesso frammisti all'*alfa* (ritmo *theta* frammisto bi-temporale simmetrico)

EEG normale

attività *alfa* reattiva (si interrompe prontamente all'apertura degli occhi in modo sincrono e simmetrico e viene sostituita da ritmi più rapidi e di minore voltaggio)

EEG normale



prove di attivazione

sonno, privazione di sonno, *iperpnea*

(HPN) e *stimolazione luminosa*

intermittente (SLI) facilitano la

comparsa di *figure epilettiformi*

EEG di routine prevede HPN e SLI

prove di attivazione

Iperpnea tende a produrre (nel bambino) ritmi più lenti, ampi e regolari e può rendere più stabile il ritmo *alfa* nell' adulto

prove di attivazione

SLI può attivare potenziali posteriori,
simmetrici e sincroni con la SLI
(*trascinamento fotico posteriore*
bilaterale simmetrico)

prove di attivazione

una asimmetria isolata del

trascinamento fotico posteriore può

riflettere una lieve aspecifica

disfunzione cerebrale unilaterale

figure patologiche

le più specifiche sono le *figure*

epilettiformi, figure parossistiche (inizio

e fine improvvisi) rapide che ben si

stagliano sull'attività di base

figure epilettiformi

punte figure puntute bi- o trifasiche

(durata $< 1/12$ di secondo, < 83 mmsec.)

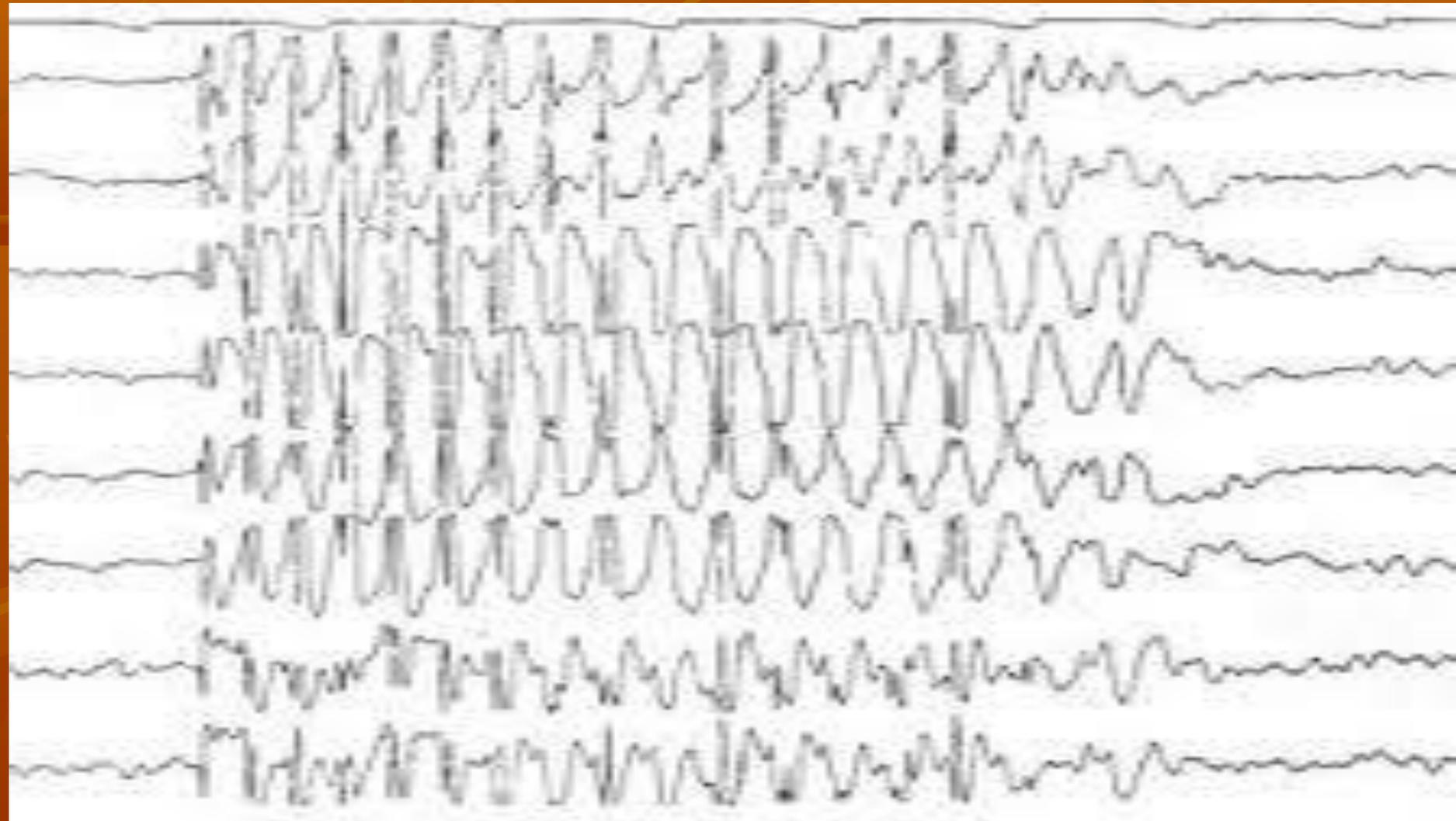
figure epilettiformi

onde puntute figure aguzze bi- tri-fasiche

(durata $< 1/5$ di sec. < 200 mmsec)

complessi di punta-onda polipunta – onda

e onda puntuta – onda lenta



anomalie diffuse sui due emisferi

1) *onde lente* delta o delta-theta

2) figure rapide parossistiche

si tiene conto di età, stato di coscienza,

quadro clinico e condizioni di registrazione

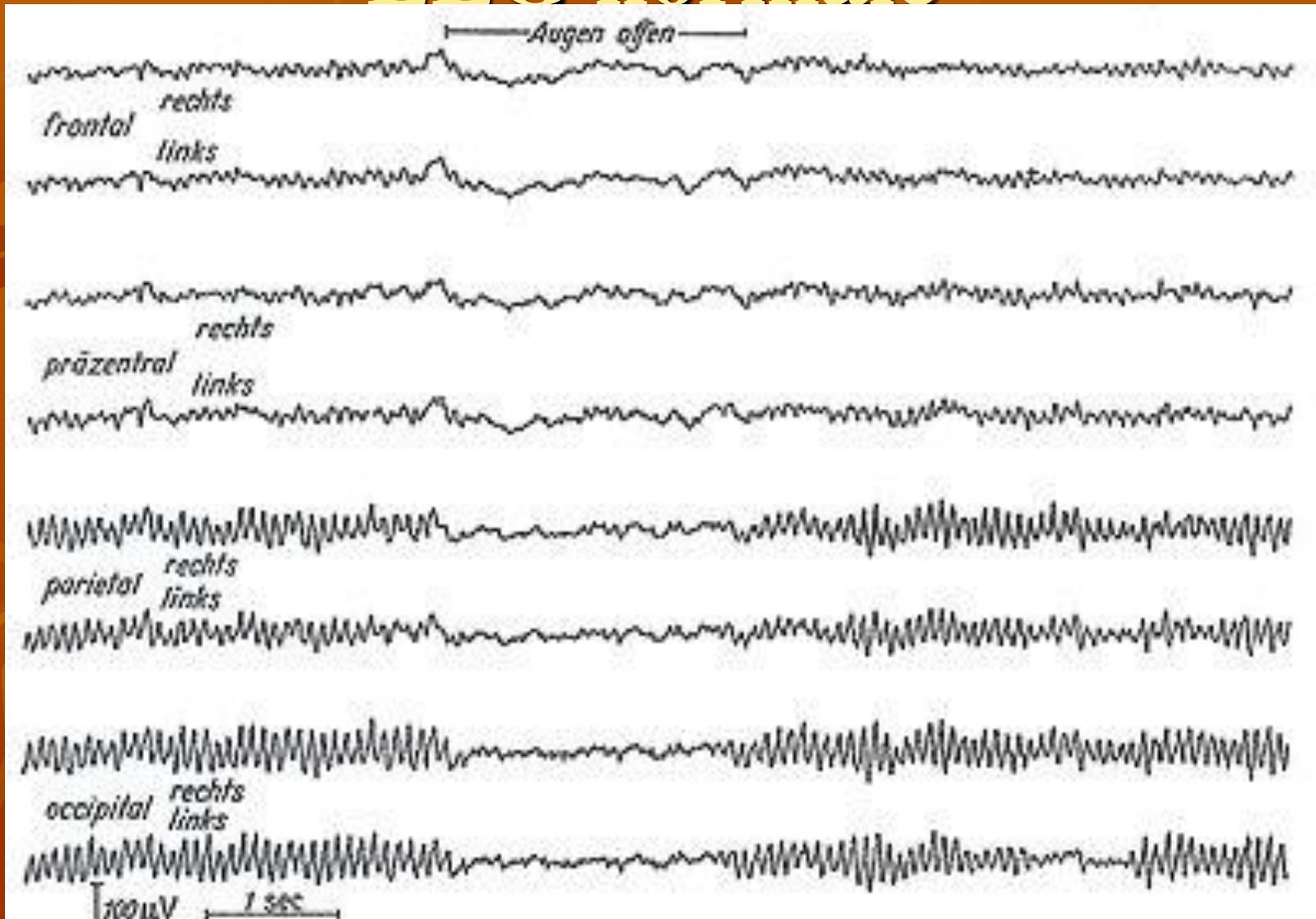
(a riposo, in HPN, durante la SLI)

anomalie lente diffuse sui due emisferi

**spesso indicano una disfunzione
diffusa *non strutturale***

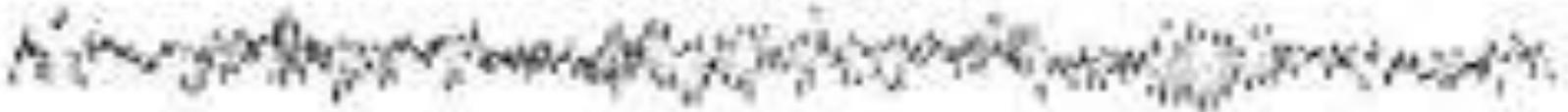
**encefalopatia *metabolica* (endocrina,
tossica, iatrogena, carenziale)**

EEG normale

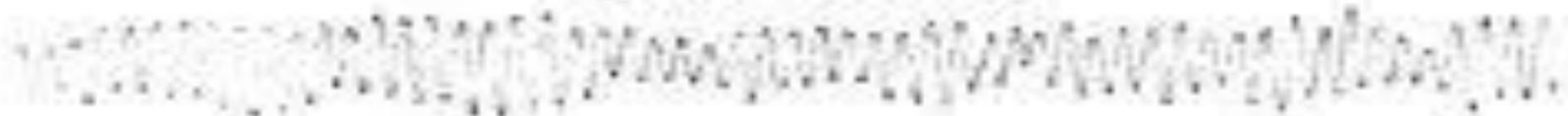


ritmi cerebrali

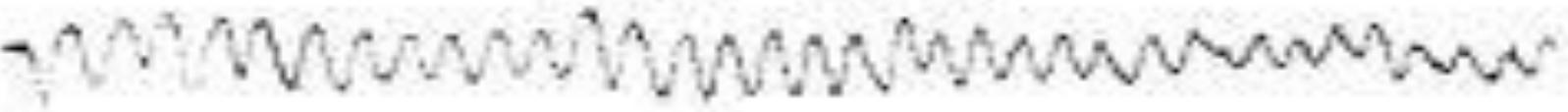
Beta > 13 Hz



Alpha 8-13 Hz



Theta 4-7 Hz



Delta < 4 Hz



**anomalie lente diffuse sui due
emisferi**

referibili talvolta a una lesione

***strutturale* profonda paramediana**

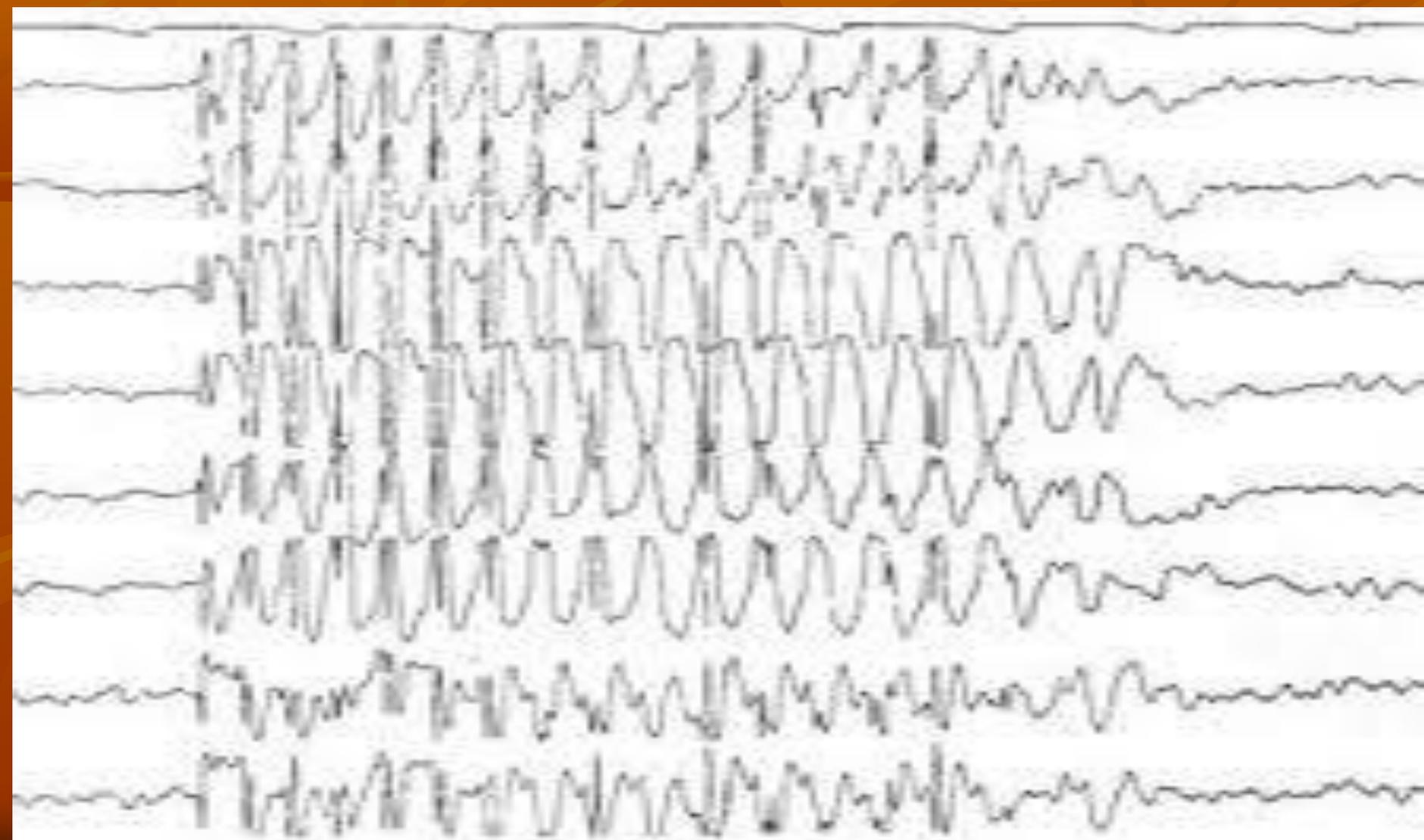
posta a distanza che interessa strutture

a proiezione bilaterale diffusa

anomalie rapide parossistiche diffuse sui due emisferi

figure epilettiformi diffuse sui due lati,
se simmetriche e sincrone sono definite
generalizzate (Epilessie Generalizzate
Idiopatiche)

asimmetriche con insorgenza asincrona
indicano la diffusione della *scarica* da un
focolaio cerebrale unilaterale



anomalie circoscritte (“focali”)

anomalie *unilaterali focali* indicano

una disfunzione cerebrale unilaterale,

spesso una lesione *strutturale*

sottostante o raramente una lesione

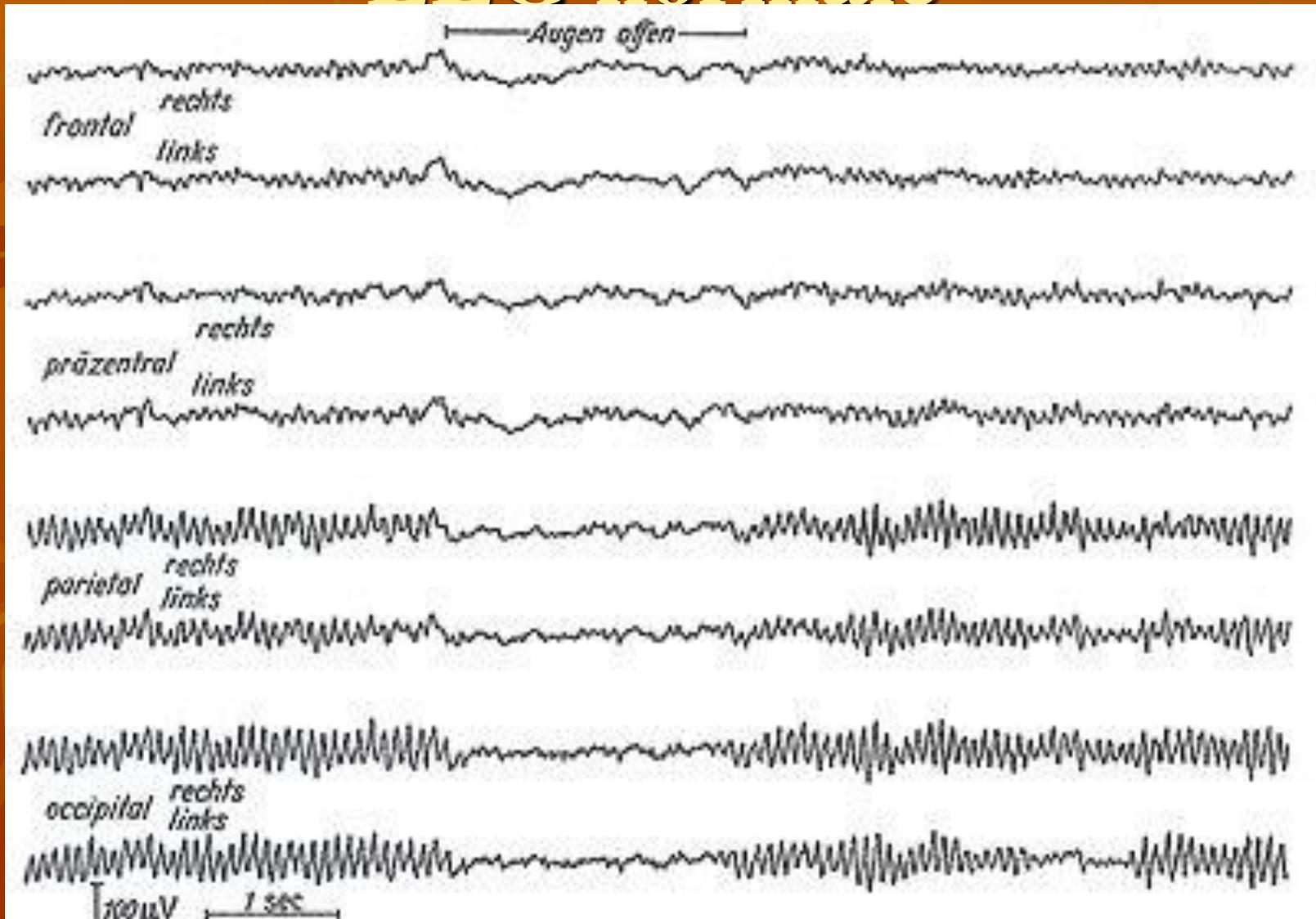
distante che proietta su quella specifica

regione corticale

anomalie “focali”

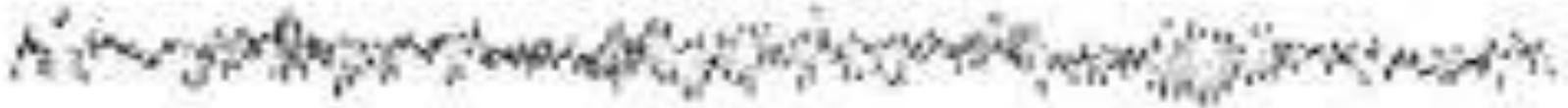
1) segni di deficit funzionale focale
(lesione *strutturale* focale) sono onde
lente (delta o delta-theta) unilaterali o
una *riduzione di ampiezza* focale
unilaterale dei bioritmi cerebrali la
semeiologia EEG non è specifica

EEG normale

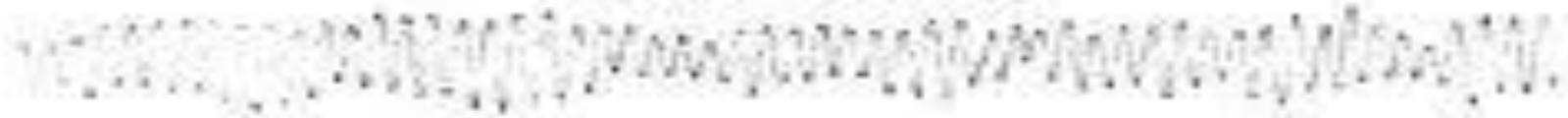


ritmi cerebrali

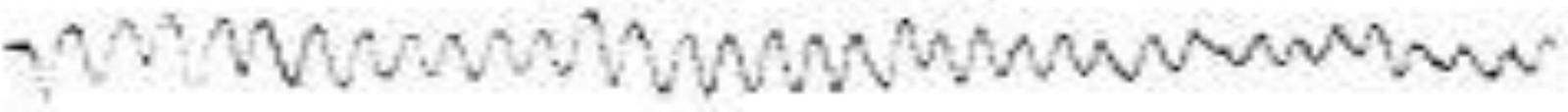
Beta > 13 Hz



Alpha 8-13 Hz



Theta 4-7 Hz

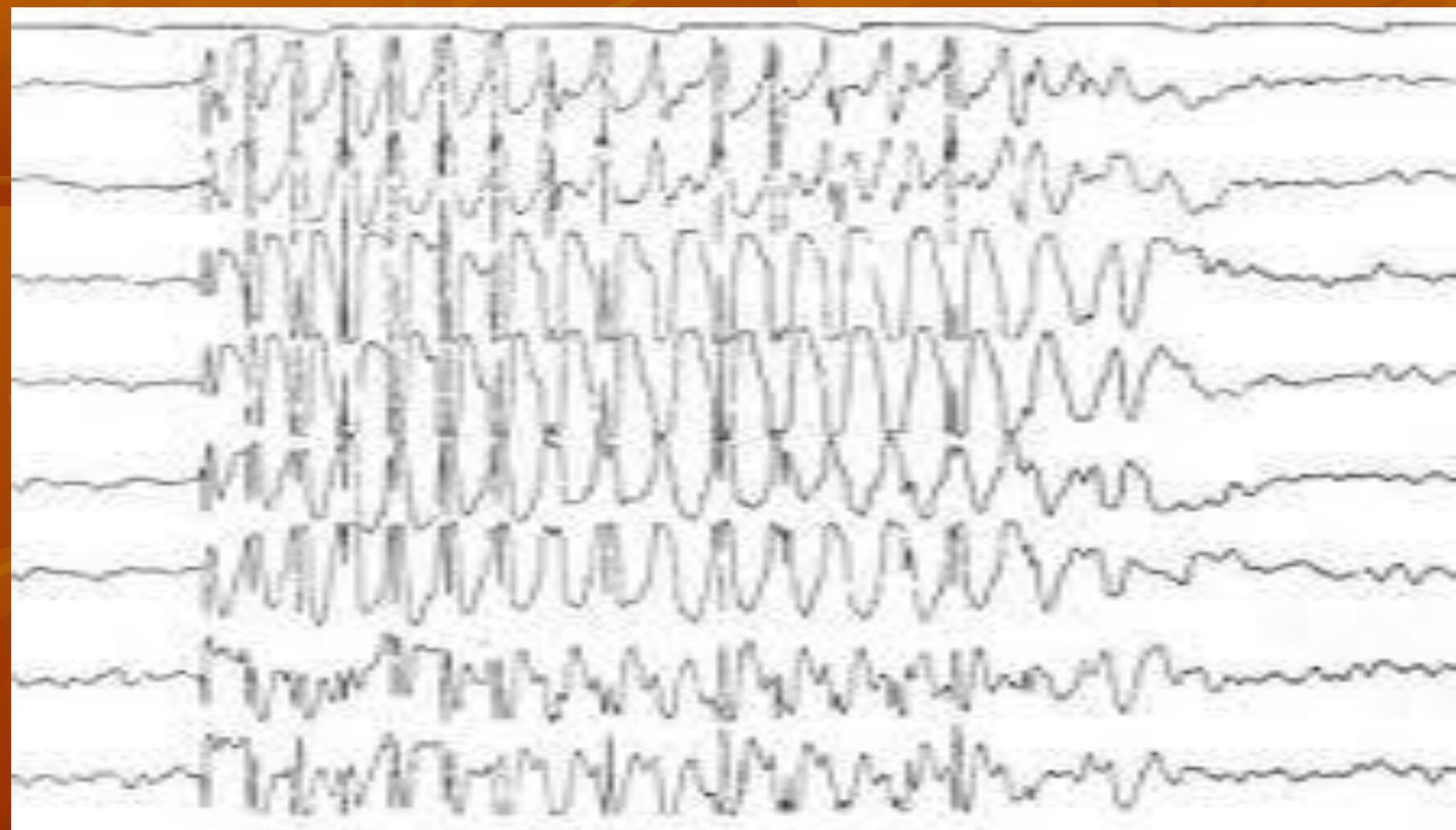


Delta < 4 Hz



anomalie circoscritte (“focali”)

2) segni *focali* di iperfunzione sono le figure *epilettiformi* riferibili a una scarica anomala ipersincrona di una popolazione di neuroni cerebrali



EEG nella pratica clinica

esame *funzionale* di semplice
esecuzione poco costoso ripetibile utile
in vari contesti clinici

richiede *collaborazione* e capacità di
rilassamento psico-fisico

sospetto clinico di epilessia

anomalie epilettiformi in associazione temporale con un disturbo cerebrale transitorio compatibile con una crisi epilettica stabilisce la diagnosi di *crisi epilettica*

registrazione della crisi

sospetto clinico di epilessia

le *crisi epilettiche* sono imprevedibili ed è raro registrare una crisi durante un EEG di routine (importanza della *video-EEG*)

EEG dei soggetti epilettici spesso alterato nei *periodi intercritici* risulta utile alla diagnosi

sospetto clinico di epilessia

20-40% dei soggetti dimostratisi in seguito affetti da epilessia ha presentato in fase diagnostica uno o più EEG privi di *anomalie epilettiformi* (fino al 50% al primo EEG)

sospetto clinico di epilessia

anomalie *epilettiformi* presenti anche in soggetti che non hanno mai presentato crisi epilettiche (2-7 % della popolazione generale)

frequenza comunque inferiore rispetto ai soggetti affetti da epilessia

sospetto clinico di epilessia

anomalie *epilettiformi* intercritiche in un soggetto che ha presentato disturbi cerebrali transitori compatibili con crisi epilettiche aumenta fortemente la probabilità di *epilessia*

diagnosi di epilessia

EEG contribuisce a classificare il tipo di *epilessia* e a scegliere la terapia anti-epilettica appropriata

un' alterazione della coscienza si verifica nelle *crisi epilettiche generalizzate* (convulsive e non convulsive, *assenze*) e nelle *crisi focali complesse*

diagnosi di epilessia

epilessia generalizzata idiopatica

**in fase critica e intercritica scariche
generalizzate di figure epilettiformi
spesso attivate dall' HPN o dalla SLI
inscritte su un'attività di fondo
normale**

diagnosi di epilessia

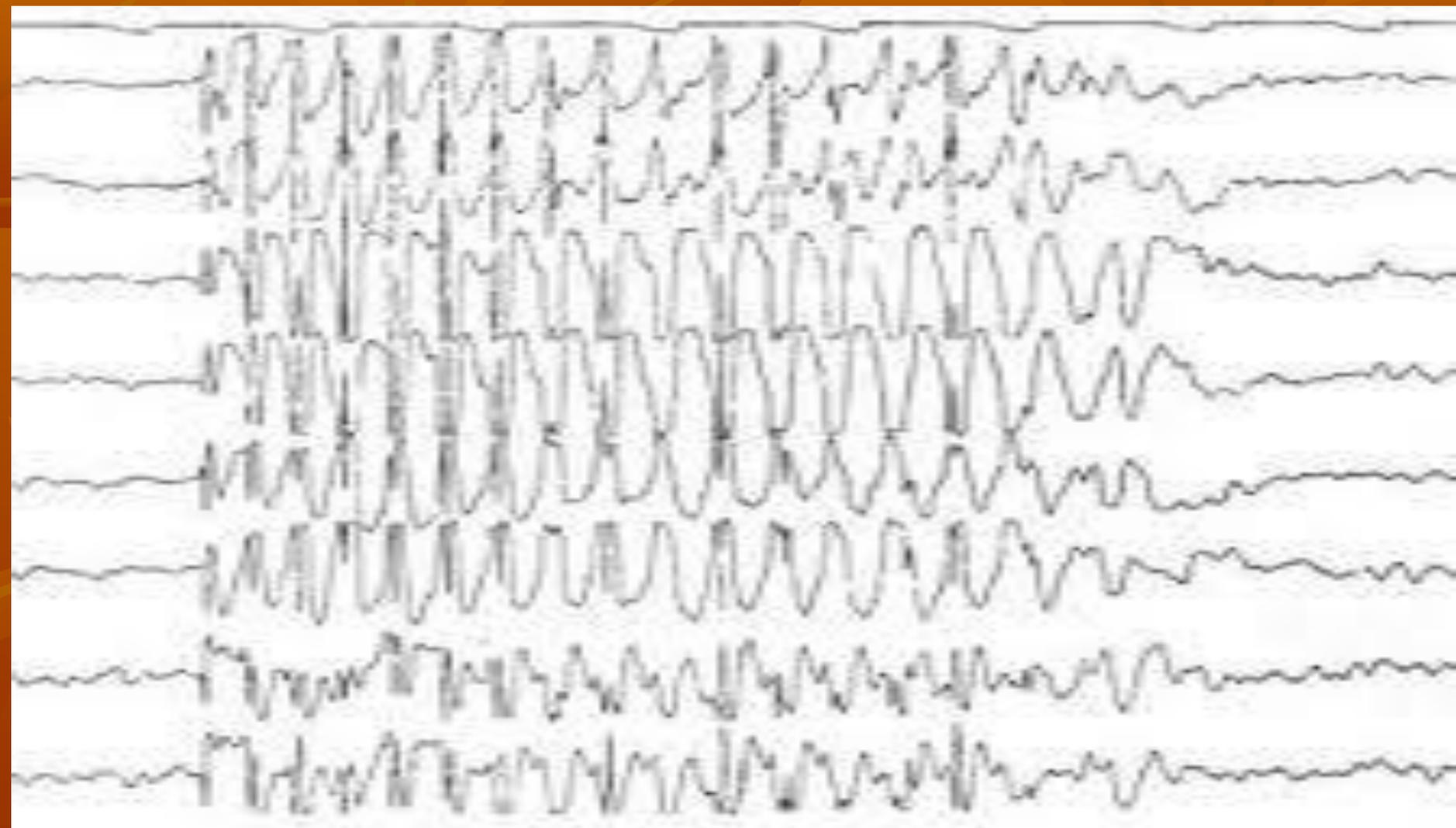
nelle *crisi epilettiche focali complesse*

EEG può mostrare in fase critica e intercritica scariche focali di figure epilettiformi in regione temporale (70% dei casi) o extra-temporale (30% dei casi)

diagnosi di epilessia

durante una crisi epilettica attività parossistica di *figure epilettiformi* di frequenza e ampiezza variabili a distribuzione variabile

- 1) unilaterale focale (*crisi focale*)
- 2) bilaterale sincrona e simmetrica sui due lati dall' inizio della crisi (*crisi generalizzata*)



diagnosi di epilessia

3) diffusione

figure *epilettiformi* focali che diffondono progressivamente alle aree omolaterali limitrofe e alle regioni controlaterali (*crisi focale secondariamente generalizzata*)

prognosi dell' epilessia

attività di fondo normale e rare scariche *epilettiformi* solo nelle *prove di attivazione* indica prognosi favorevole sul controllo delle crisi epilettiche

attività di fondo molto alterata e frequenti scariche *epilettiformi* a riposo (EEG “attivo”) indica prognosi sfavorevole

interruzione terapia anti-epilettica

**sospensione della terapia più sicura in
assenza di scariche *epilettiformi* e con
attività di fondo poco alterata**

interruzione terapia anti-epilettica

nonostante l' assenza di scariche *epilettiformi* e un'attività di fondo poco alterata il paziente può recidivare alla sospensione della terapia ma il rischio di recidiva è inferiore

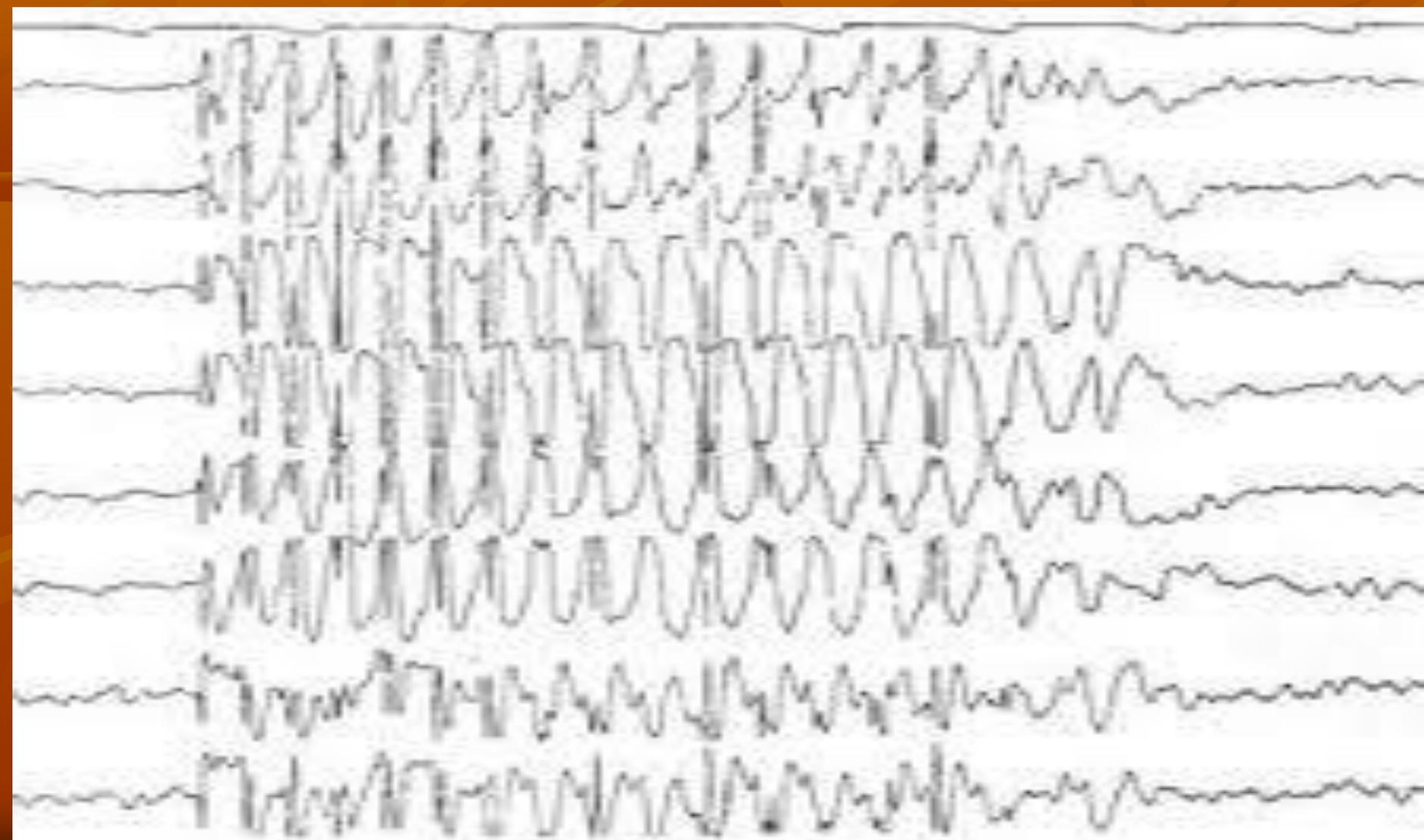
dal 75% al 50% nelle *epilessie focali sintomatiche lesionali*

stato epilettico

di scarso aiuto se *convulsivo* tranne
in caso di infusione di farmaci che
bloccano la trasmissione neuro-
muscolare in anestesia generale
indica la profondità dell' anestesia e
il persistere di *crisi elettriche*
attività *epilettiforme continua o*
intermittente

stato epilettico con alterazione della coscienza

- EEG permette la diagnosi e ne differenzia i tipi principali
- 1) Stato Epilettico *non convulsivo generalizzato* (Stato di Assenza) con attività di *punta-onda* a 3 Hz generalizzata continua o intermittente
- 2) Stato Epilettico *focale complesso* con attività epilettiforme focale continua o intermittente

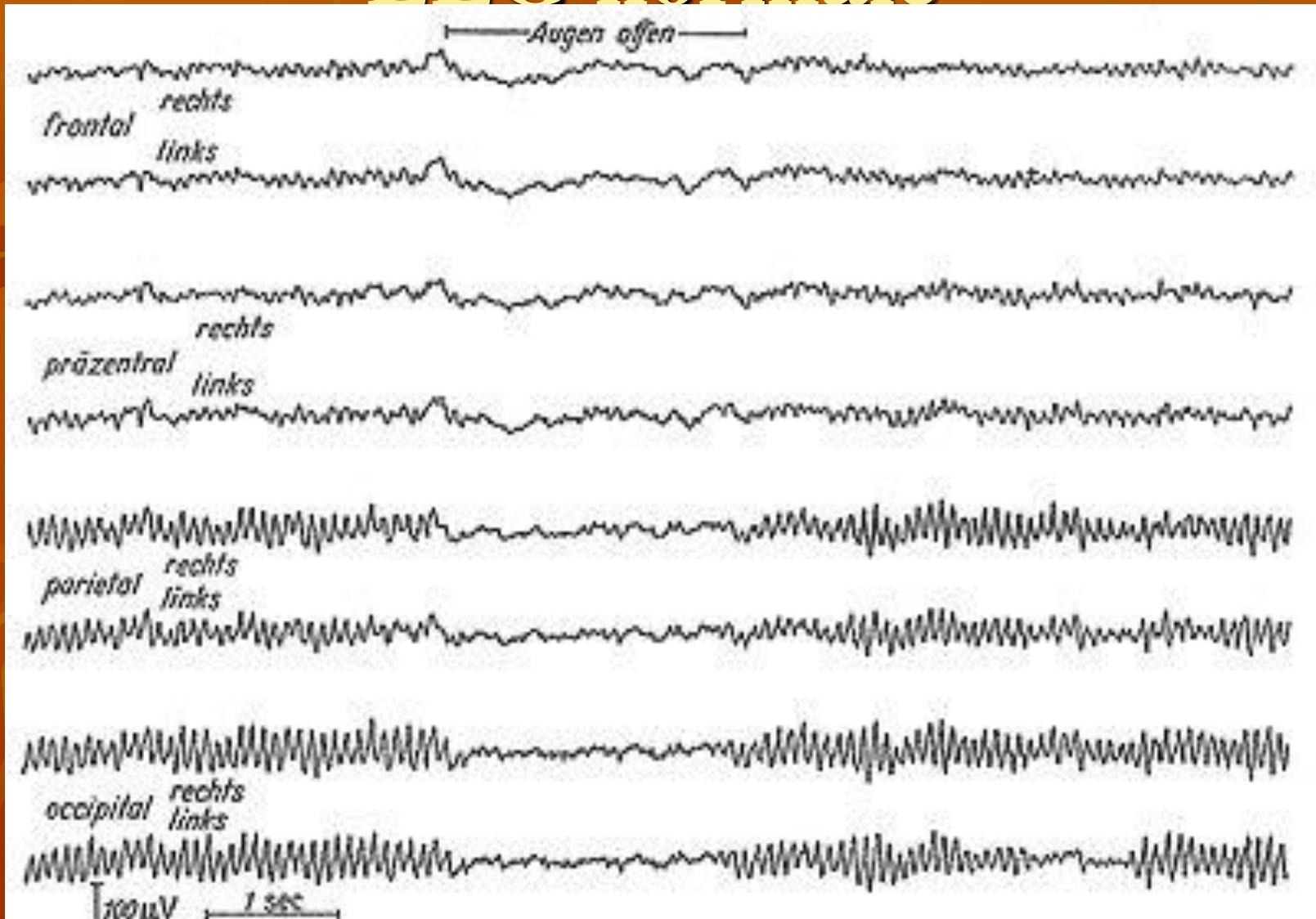


lesione strutturale cerebrale

1) anomalie lente *focali* unilaterali più o meno estese

2) riduzione di *ampiezza* unilaterale focale dei bioritmi cerebrali
depressione, attenuazione circoscritta dell'attività elettro-corticale

EEG normale

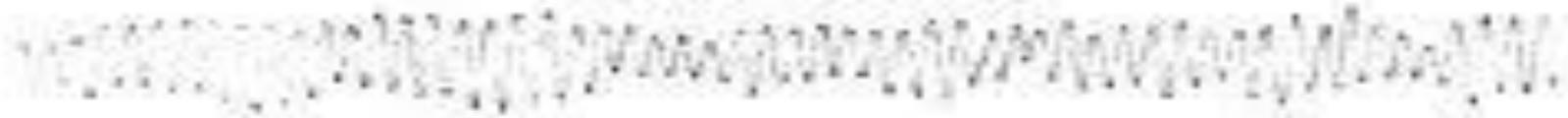


ritmi cerebrali

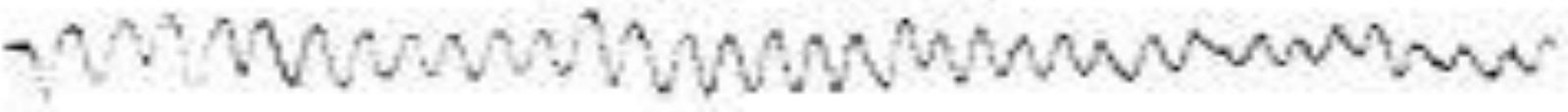
Beta > 13 Hz



Alpha 8-13 Hz



Theta 4-7 Hz



Delta < 4 Hz



lesione strutturale cerebrale

- vasta lesione *strutturale* in espansione presenta anomalie lente più diffuse estese a gran parte dell'emisfero cerebrale

lesione strutturale cerebrale

- anomalie lente diffuse estese all'emisfero controlaterale si associano a una depressione dello stato di coscienza
- diagnostica per immagini (TC e RMN Encefalo) ha sostituito EEG in questo contesto (diagnosi *anatomica* e *eziologica*)

encefalopatia non strutturale diffusa

- onde aguzze bilaterali diffuse
periodiche o quasi periodiche inscritte
su un'attività di fondo rallentata
depone per una encefalopatia
metabolica (epatica, polmonare, renale)

encefalopatia non strutturale diffusa

- abbondanti ritmi beta bilaterali diffusi a tutte le derivazioni dei due lati frammisti a una attività di fondo rallentata indica una *intossicazione farmacologica* (benzodiazepine, barbiturici e altri
- sedativo-ipnotici)

malattie neurologiche

- certi pattern EEG benchè non specifici sono caratteristici di certe malattie neurologiche
- *figure epilettiformi* unilaterali *periodiche* (ampie onde puntute ogni 2-4 secondi) più evidenti sulle derivazioni fronto-temporali (PLEDS) in un quadro di alterazione cerebrale acuta depone per un' *encefalite herpetica*

malattie neurologiche

- onde aguzze bilaterali diffuse *periodiche* ogni 0,5-1,5 secondi (periodismo *rapido*) più evidenti sulle regioni anteriori inscrite su un'attività di fondo depressa

malattie neurologiche

- in una demenza subacuta con mioclonie multifocali (scosse muscolari bilaterali intermittenti asimmetriche e asincrone) prive di stretto rapporto temporale con le onde aguzze periodiche depone per una malattia di *Creutzfeldt-Jakob*

disturbi dello stato di coscienza

- attività elettro-corticale rallenta nei quadri di depressione dello stato di coscienza il rilievo di *figure epilettiformi* suggerisce diagnosi non considerate
- nel *coma* EEG contribuisce al monitoraggio e alla prognosi
- *reattività* EEG agli stimoli (richiamo, stimolo acustico intenso non verbale, dolore)

morte cerebrale

- “assenza di attività elettrica cerebrale spontanea e provocata di ampiezza superiore a 2 microvolt per almeno 30 minuti di registrazione”
- silenzio elettrico cerebrale (tracciato “*isoelettrico*” EEG “*piatto*”)

