

4 ELETTROENCEFALOGRAFIA E VIDEO-ELETTROENCEFALOGRAFIA NEL BAMBINO

Paolo Lanteri (a), Agnese Suppiej (b), Silvia Lori (c), Lidia Broglia (d), Federico Raviglione (e)

(a) *Neurofisiopatologia, Fondazione IRCCS Istituto Neurologico Carlo Besta Milano*

(b) *Dipartimento di Scienze Mediche, Sezione di Pediatria, Università di Ferrara*

(c) *Dipartimento Neuro-muscolo-scheletrico e Organi di Senso, Università degli Studi di Firenze*

(d) *ASL Roma 1, Presidio Ospedaliero San Filippo Neri*

(e) *Neuropsichiatria per l'Infanzia e l'Adolescenza, Azienda SocioSanitaria Territoriale Rhodense, Milano*

La possibilità di disporre in ambito ospedaliero e extra-ospedaliero, di servizi diagnostici neurofisiologici specifici per l'età pediatrica, in caso del sospetto di crisi epilettiche/epilessia, di alterazioni dello stato di coscienza, di disturbi del sonno e del movimento, è una sfida significativa, soprattutto nei paesi in via di sviluppo e/o con un basso numero di specialisti (neurologi/neurofisiologi pediatrici e/o neuropsichiatri infantili). L'esame *gold standard* è l'elettroencefalogramma (EEG). Una registrazione EEG standard "minima" dura circa da 20 a 30 minuti di registrazione di buona qualità, talora, tuttavia, nel bambino è necessario un tempo maggiore per l'elevata frequenza di artefatti dovuti alla scarsa collaborazione. Infine, per interpretare e refertare l'esame spesso è richiesto molto più tempo, anche per i motivi sopra specificati. In particolare, in pochissimi centri è possibile avere una refertazione e/o un consulto in tempo reale H24. In questa direzione, la telemedicina in campo Neurofisiologico pediatrico potrebbe, ancor più che nell'adulto, essere strumento di miglioramento dei livelli minimi assistenziali in ambito neurologico pediatrico.

L'aggiunta del video sincronizzato alla registrazione EEG (vEEG) risulta ormai fondamentale al fine di correlare in modo più preciso l'attività elettrica registrata nel neonato/bambino con i parametri funzionali/vitali, gli stati comportamentali, eventi causativi di artefatti e la semeiologia clinica critica (visualizzazione del repertorio motorio, di movimenti parossistici epilettici e non). Soprattutto nei primi anni di vita la vEEG è la metodica EEG *gold standard*, quando possibile.

Si segnala anche la progressiva diffusione di una nuova tecnologia digitale definita "Quantitative EEG" (QEEG). Questa tecnologia digitale consente di visualizzare i dati EEG in tempo reale compressi nel tempo, fornendo una panoramica istantanea dello spettro dell'attività cerebrale di un paziente in un determinato arco di tempo, accelerando così l'interpretazione. Mentre l'analisi visiva dell'EEG convenzionale continua a essere l'approccio standard alla valutazione EEG, l'uso dell'analisi QEEG sta aumentando e sta diventando un sempre più utile strumento complementare.

Il QEEG può essere basato:

- sull'ampiezza a prescindere dal numero di derivazioni, sotto forma di "amplitude-integrated EEG" (aEEG), anche detto *Cerebral Function Monitoring* (CFM);
- sulle tendenze dell'involuppo che forniscono l'ampiezza mediana dell'attività di fondo;
- sulla potenza nel tempo a varie frequenze, denominate "array spettrale compresso" (*Compressed Spectral Array*, CSA), "array spettrale densità" (*Density Spectral Array*, DSA) e "array spettrale densità colore" (*Color Density Spectral Array*, CDSA).

4.1 Standard tecnici minimi in ambito pediatrico

Vengono discusse speciali considerazioni pertinenti alle registrazioni pediatriche, con particolare attenzione all'EEG nei lattanti e nei bambini piccoli. La registrazione dell'EEG nei bambini più grandi e negli adolescenti differisce poco dalla registrazione dell'EEG degli adulti. In linea generale EEG pediatrico se possibile dovrebbe prevedere una vEEG e un tempo di registrazione prolungato che includa fasi di veglia e di sonno.

4.1.1 Montaggio e parametri di registrazione

Per una corretta interpretazione dell'EEG è fondamentale che la sua esecuzione rispetti gli standard minimi di esecuzione in ambito pediatrico (1).

Da 1 mese a 18 anni, quando possibile, la registrazione EEG dovrebbe comprendere tutti i 21 elettrodi del sistema internazionale 10-20.

Nei primi mesi di vita si dovrebbero applicare montaggi con almeno 12 derivazioni cerebrali, oltre a due, e spesso più, canali dedicati alla registrazione di variabili "poligrafiche" non EEG, come l'elettrocardiogramma (ECG) e la respirazione. Sedici o più canali facilitano la flessibilità necessaria. Anche la registrazione dell'attività muscolare mediante canale EMG a livello del muscolo mentalis e il trasduttore di movimento possono essere molto utili come anche la registrazione dei movimenti oculari (elettroculogramma, EOG) (2,3).

La determinazione del corretto sito di posizionamento degli elettrodi mediante la misurazione è importante sia nei neonati che nei bambini come negli adulti.

Il posizionamento di un elettrodo in un punto diverso rispetto a quello misurato è accettato solo nelle circostanze in cui è impossibile o clinicamente preferibile non manipolare la testa del bambino per fare le misurazioni.

Se è necessario modificare la posizione di un elettrodo a causa della presenza di vasi sanguigni, linee di frattura, ematomi, ecc., il posizionamento degli elettrodi controlaterali omologhi dovrebbe essere modificato in modo simile.

Se viene eseguito un posizionamento approssimativo anziché preciso degli elettrodi o, se viene modificata la posizione di un elettrodo rispetto a quella standard, il tecnico dovrebbe annotarlo sulla registrazione.

Particolare attenzione deve essere prestata nel montaggio EEG dei bambini sotto i 2 anni, dove, considerato il diametro cefalico ridotto, per migliorare l'accuratezza della registrazione, si aumenta la distanza tra gli elettrodi senza diminuire il numero di elettrodi o canali. I montaggi standard usati per gli adulti dovrebbero essere usati per i bambini (età superiore a 5 anni) utilizzando tutti i 21 elettrodi del Sistema Internazionale 10 - 20 nella maggior parte dei casi.

Tutte le altre informazioni cliniche pertinenti disponibili (inclusi i risultati dell'emogasanalisi, i valori degli elettroliti sierici e i farmaci attuali) devono essere annotate. Se è presente ipotermia, terapeutica o di altro tipo, deve essere segnalata, insieme alla temperatura corporea del paziente. La sensibilità più appropriata è solitamente 7 uV/mm, ma andrà corretta in modo appropriato per facilitare l'interpretazione dell'EEG.

4.1.2 Tempi di registrazione

Tranne quando l'EEG è gravemente patologico, le registrazioni di 20 o 30 minuti sono generalmente insufficienti e solitamente è necessario ottenere almeno 60 minuti di registrazione per dimostrare eventuali variazioni del tracciato. In condizioni specifiche può essere necessario registrare un EEG prolungato o continuo.

4.1.3 Caratteristiche di registrazione

Quando possibile, le registrazioni dovrebbero includere periodi ad occhi aperti e ad occhi chiusi. Nei bambini di età superiore a 3 mesi, la chiusura passiva degli occhi (ponendo la mano del tecnico sugli occhi del paziente) ha spesso successo nel produrre il ritmo posteriore dominante.

Quando possibile sarebbe importante registrare il sonno (almeno 1 ciclo di sonno), a completamento della registrazione in veglia. La registrazione dell'EEG del paziente durante la sonnolenza, l'inizio del sonno e il risveglio è importante, e questo si ottiene meglio con l'acquisizione in continuo dell'EEG. Il sonno naturale è preferito, ma la privazione di sonno o la melatonina possono essere utili.

Lo stato clinico del paziente (veglia, sonnolenza o sonno) deve essere indicato chiaramente all'inizio della registrazione e ad ogni cambiamento di stato.

L'osservazione continua da parte del tecnico, con frequenti annotazioni sulla registrazione, è particolarmente importante quando si registrano pazienti pediatrici. Quando disponibile, può essere utile fare una vEEG, soprattutto nel bambino più piccolo, per una migliore comprensione e interpretazione degli eventi e dei cambi di stato (2-4).

4.2 Manovre di attivazione

Si consiglia di eseguire l'iperventilazione (HV) dopo i tre anni e la stimolazione luminosa dopo l'anno. Si consiglia di eseguire l'iperventilazione all'inizio e la stimolazione fotica alla fine della registrazione per massimizzare il sonno spontaneo.

Se l'iperventilazione non riesce ad evocare modificazioni sensibili del tracciato, una seconda prova di iperventilazione (eseguita almeno 10 minuti dopo la prima prova) può avere una resa maggiore soprattutto in pazienti con sospetta assenza o altre crisi epilettiche primarie generalizzate. La stimolazione fotica nella gamma di frequenze da 1 a 30 Hz deve essere utilizzata durante la veglia. È essenziale che HV venga eseguita durante l'EEG nei bambini con sospette crisi di assenza in assenza di controindicazioni. Il tecnico dovrebbe fare annotazioni attente sulla reattività del paziente e sulla qualità della prova.

Tutti questi accorgimenti sono utili per meglio comprendere e interpretare l'ampio range di pattern inusuali nei bambini specifici per età (1, 2).

È importante sottolineare che soprattutto in ambito pediatrico, l'EEG può risultare normale nei pazienti con epilessia, o viceversa può evidenziare anomalie e patterns inusuali/epilettiformi in pazienti anche senza epilessia: tale aspetto aumenta significativamente il rischio di interpretare in modo erraneo il parametro EEG al fine di un corretto inquadramento clinico-epilettologico.

Il referto non deve prescindere dalla conoscenza approfondita del quadro e del quesito clinico (3).

Il montaggio e la registrazione di EEG e vEEG nel bambino deve essere sempre gestita da un tecnico di neurofisiopatologia (TNFP) con esperienza in ambito pediatrico, soprattutto per pazienti neonati, lattanti e bambini piccoli per le peculiarità tecniche richieste.

È opportuno che il TNFP con esperienza solo nell'ambito dell'adulto, che dovesse effettuare EEG e vEEG in ambito pediatrico, venga affiancato da un collega esperto anche utilizzando la teleassistenza per le fasi di montaggio e registrazione.

L'assistenza e la visualizzazione del tracciato EEG durante la registrazione può essere affidata, in casi di registrazione prolungata o continua e in casi specifici concordati con Neurofisiologo e TNFP, a personale anche non TNFP ma con esperienza nel settore per poter adeguatamente segnalare gli eventi rilevanti relativamente al paziente e all'ambiente circostante.

4.3 Ambiti e criteri generali di applicabilità della prestazione

Le applicazioni dell'EEG nel bambino che possono beneficiare di telefermatazione, teleconsulto o telemonitoraggio, sia in modalità di telemedicina sincrona che asincrona sono:

- a. diagnostica differenziale fra episodi critici di natura epilettica e non epilettica;
- b. inquadramento elettro-clinico di crisi epilettiche, epilessie e sindromi epilettiche dell'età pediatrica;
- c. diagnosi trattamento e monitoraggio dell'efficacia della terapia dello stato di male epilettico;
- d. supporto alla selezione dei pazienti epilettici da avviare alla chirurgia dell'epilessia;
- e. diagnosi prognosi e monitoraggio del bambino con disturbo della coscienza nel *setting* del disturbo della coscienza che accede in Pronto Soccorso, ma anche in reparto se acuto e subacuto e del coma pediatrico ricoverato in terapia intensiva;
- f. inquadramento elettro-clinico dei disturbi del sonno.

Le indicazioni all'EEG e al vEEG nel *setting* dell'emergenza-urgenza verranno trattate nel capitolo dedicato al tema.

Qui di seguito si vedano nella Tabella 4.1 in quali *setting* assistenziali il Gruppo di Consensus Nazionale ritiene possibile applicare sistemi di telemedicina in relazione alle elencate situazioni cliniche in ambito pediatrico.

Tabella 4.1. Ambiti di applicabilità della telemedicina per gli esami EEG/vEEG (1 mese-18 anni) con le indicazioni e i vari *setting* assistenziali

Situazioni cliniche	Setting assistenziali				
	Ambulatorio	Reparto ordinario	Terapia intensiva*	Pronto soccorso	Domicilio
Diagnosi differenziale tra episodi critici epilettici e non	X	X	X	X	X
Inquadramento elettroclinico crisi epilettiche (epilessie, sindromi epilettiche, ecc.)	X	X	X	X	X
Monitoraggio dello stato di male (diagnosi, trattamento-efficacia farmaci antiepilettici)		X	X	X	
Supporto ai pazienti da avviare alla terapia neurochirurgica dell'epilessia	X	X	X	X	X
Diagnosi prognosi e monitoraggio del bambino con disturbo della coscienza		X	X	X	
Inquadramento elettro-clinico dei disturbi del sonno	X	X	X		

* include Terapia Subintensiva

4.4 Livello organizzativo in cui si colloca la prestazione

Le prestazioni di cui sopra alla Tabella 4.1 possono essere collocate come segue:

- Intra-presidio: (modalità sincrona e asincrona);
- Intra-aziendale: (modalità sincrona e asincrona);

- Inter-aziendale: (modalità prevalente asincrona);
- Domiciliare: (modalità prevalentemente asincrona).

Per ognuno dei *setting* sopra specificati, l'esame *gold standard* rimane l'EEG con videopoligrafia.

RACCOMANDAZIONI

L'EEG andrebbe eseguito entro le 24 ore dalla crisi, particolarmente nel bambino (Livello II, forza B). Il rallentamento di un tracciato nelle 24-48 ore successive alla crisi può essere transitorio e va interpretato con cautela. Durata esame 20 minuti-90 minuti (media 60 minuti).

Nel caso di monitoraggio prolungato in paziente pediatrico con epilessia nota o sconosciuto (1 mese-18 anni) per registrazione di EEG critico/intercritico per sospette crisi epilettiche vs fenomeni parossistici non epilettici, la durata dell'EEG può essere di 12-24 ore.

La gestione del controllo della qualità del tracciato, la segnalazione degli eventi del paziente o dell'ambiente circostante che possano in qualche modo, alterare la registrazione, la notifica di somministrazione di terapia nonché le variazioni dei parametri vitali del paziente sono tutti aspetti che dovranno essere gestiti direttamente dal personale medico, TNFP e infermieristico del centro che ha in carico il paziente.

Lo stesso personale che dovrà contattare il neurofisiologo in teleconsulto con cadenza temporale concordata con il Neurofisiologo stesso, in base al sospetto clinico e allo scopo del monitoraggio (prima giornata o conferma andamento nelle giornate successive, quadro clinico stabile o instabile, variazioni significative della terapia, ecc.).

4.5 Alcune considerazioni di rilievo riguardanti l'età pediatrica

Un'accurata anamnesi è fondamentale per la refertazione dell'esame e per la teleconsulenza, soprattutto in epoca infantile per la quale sono imprescindibili alcune considerazioni: in alcune fasce di età si possono verificare e si manifestano condizioni epilettiche che non sono paragonabili e non si riscontrano in nessun'altra fase della vita. In particolare, bisogna considerare l'ampio capitolo delle sindromi epilettiche genetiche/benigne dell'infanzia (spesso ad autolimitazione-auto-risoluzione), così come il capitolo delle encefalopatie epilettiche (stati transitori in cui il peggioramento del tracciato, delle anomalie e delle crisi determina una regressione e un arresto delle tappe di sviluppo).

Infine, vi sono alcuni quadri genetici/metabolici/lesionali particolari e specifici che si raccolgono nella categoria di "Developmental and Epileptic Encephalopathies" (DEE) (5). Si tratta di condizioni eterogenee in cui un raro disturbo del neurosviluppo si associa alla presenza di crisi spesso intrattabili, anomalie elettroencefalografiche, deterioramento cognitivo e talora decesso. In considerazione di questi elementi bisognerà valutare, di caso in caso, la durata, il tipo e la modalità di registrazione e di refertazione e di conseguenza la modalità più idonea di teleconsulto (6, 7).

Il medico richiedente la/le prestazione/i deve fornire, in tutti i casi di cui sopra, al momento della richiesta informazioni dettagliate relative all'anamnesi, ai dati clinici e strumentali inerenti al quesito. Tali dati clinico-anamnestici potrebbero essere raccolti con accesso alla scheda clinica del paziente se consultabile da remoto (8).

L'EEG, inoltre, ha un ruolo rilevante nella valutazione del piccolo paziente con alterazione dello stato di coscienza. È bene rammentare, in questa direzione, che, sia in relazione all'età che ai diversi possibili scenari clinici e alle diverse indicazioni all'esame che possono beneficiare di teleconsulto e telerefertazione, l'acquisizione e l'interpretazione del segnale EEG può differire significativamente rispetto alle stesse condizioni riscontrabili nell'età adulta (9).

Le eziologie del coma pediatrico sono infatti spesso differenti da quelle rilevabili dell'adulto sia per una maggiore varietà di cause che per diversi *setting* a parità di causa. Soprattutto nelle fasce di età più basse le scale di valutazione clinica dello stato di coscienza pur tenendo conto delle competenze verbali e non verbali raggiunte in relazione con lo sviluppo psicomotorio, sono utilmente supportate dall'EEG e dalle altre tecniche neurofisiologiche (vedi paragrafi specifici per EP ed EMG).

Nei più piccoli possono osservarsi fattori eziopatogenetici peculiari, e infine per l'immatrità del sistema nervoso centrale le potenzialità di recupero in fase acuta risultano maggiori sebbene l'outcome a lungo termine possa invece risultare peggiore. Nel bambino che giunge al pronto soccorso pediatrico per un'alterazione dello stato di coscienza l'EEG ha un ruolo diagnostico, talora con implicazioni terapeutiche ma anche prognostico, di primaria importanza. Gli ambiti diagnostici sono le sospette encefaliti infettive e autoimmuni, lo stato di male non convulsivo, le intossicazioni da benzodiazepine e barbiturati, le encefalopatie metaboliche, più raramente encefalopatie cerebrovascolari, ipossico-ischemiche e post-traumatiche. Per quanto riguarda la prognosi l'EEG supporta la valutazione della severità dell'alterazione della funzione cerebrale e la sua evoluzione nel tempo. Per il *setting* del coma pediatrico ricoverato in terapia intensiva si rimanda al capitolo specifico (cfr. capitoli 13 e 14).

Nel bambino ricoverato non in Terapia Intensiva, invece, che però presenta un'alterazione dello stato di coscienza, l'EEG ha un ruolo diagnostico, talora con implicazioni terapeutiche ma anche prognostico, di primaria importanza. Una volta stabilizzato il paziente e assicurati i parametri vitali del bambino, risulta di notevole importanza un EEG anche di breve durata eseguito rapidamente. Se il primo EEG e gli accertamenti del caso (*setting* metabolico e neuroimaging) non hanno permesso una chiara interpretazione eziologica o se il quadro non si è risolto, in seguito può essere utile un eventuale EEG prolungato o continuo per monitorare le fluttuazioni del livello di vigilanza, monitorare l'evoluzione e modulare eventuali interventi terapeutici.

Soprattutto nel caso del teleconsulto, il Gruppo di Consensus Nazionale raccomanda una modalità audio-video con collegamento in remoto del medico richiedente per una valutazione dell'esame obiettivo neurologico e delle condizioni del paziente.

Anamnesi ed esame obiettivo consentiranno di suddividere il caso clinico in semplice o complesso e stabilire con il medico richiedente e/o con il TNFP il programma di lavoro diagnostico-strumentale. Per quanto riguarda la parte strumentale (EEG e vEEG) è il TNFP che esegue l'esame. Il medico refertatore ne prenderà visione o in tempo reale durante lo svolgimento (durante la registrazione dell'esame) oppure al termine dello stesso (in differita – teleneurofisiologia asincrona).

Al termine l'esperto in neurofisiologia clinica prepara il referto che nello specifico, in quanto telereferto, viene trattato nel paragrafo 1.4 del presente Documento di Consensus Nazionale.

Va sottolineato che la responsabilità delle decisioni terapeutiche sul paziente resta del medico che ha in carico il paziente (10, 11).

Per completezza, è importante analizzare anche l'appropriatezza erogativa della telemedicina nell'inquadramento delle patologie riportate in Tabella 4.1 nel paragrafo 4.3, suddividendo gli elementi a favore da quelli a sfavore:

- *Elementi a favore*
 - rapidità di valutazione dell'esame EEG, possibilità di interazione fra centri collaboranti in logica *hub-and-spoke* con copertura EEG h24, risparmio economico.
- *Elementi a sfavore*
 - Limiti strutturali: necessità di EEG portatile con carrello, se eseguito non in ambulatorio di neurofisiopatologia.
 - Limiti tecnologici: necessità di attacco alla rete aziendale o al wi-fi con copertura dati adeguata, disponibilità di video (EEG).
 - Limiti interpretativi: necessità di stretta collaborazione fra neurofisiologo e TNFP per l'interpretazione di artefatti, necessità di adeguate informazioni su farmaci e manovre sul paziente. Necessità di adeguate informazioni anamnestiche, cliniche e strumentali sul paziente, per una corretta interpretazione.

Bibliografia

1. Kuratani J, Pearl PL, Sullivan L, Riel-Romero RMS, Cheek J, Stecker M, *et al.* American clinical neurophysiology society guideline 5: Minimum technical standards for pediatric electroencephalography. *J Clin Neurophysiol.* 2016;33(4):320-3. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000321>
2. Kuratani J, Pearl PL, Sullivan LR, Riel-Romero RMS, Cheek J, Stecker MM, *et al.* American clinical neurophysiology society guideline 5: Minimum technical standards for pediatric electroencephalography. *Neurodiagn J.* 2016;56(4):266–75. <https://doi.org/10.1080/21646821.2016.1245568>
3. San Juan DO, Ordóñez MUÁ, Montufar JPM, Hortiales SS, Anshel DJ. Pediatric montages in clinical practice. *J Clin Neurophysiol.* 2019;36(5):345–8. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000551>
4. Dash D, Dash C, Primrose S, Hernandez-Ronquillo L, Moien-Afshari F, Ladino LD, *et al.* Update on minimal standards for electroencephalography in Canada: A review by the Canadian Society of Clinical Neurophysiologists. *Can J Neurol Sci.* 2017;44(6):631-42. <https://doi.org/10.1017/cjn.2017.217>
5. Specchio N, Curatolo P. Developmental and epileptic encephalopathies: what we do and do not know. *Brain.* 2021;144(1):32-43. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa371>
6. Thompson Nee Milner BE, Newsom D, White A. Paediatric electroencephalograph: The benefits of guidelines. *J Paediatr Child Health.* 2019;55(4):393–8. <https://doi.org/10.1111/jpc.14207>
7. Wilmshurst JM, Gaillard WD, Vinayan KP, Tsuchida TN, Plouin P, Van Bogaert P, *et al.* Summary of recommendations for the management of infantile seizures: Task Force Report for the ILAE Commission of Pediatrics. *Epilepsia.* 2015;56(8):1185–97. <https://doi.org/10.1111/epi.13057>
8. Löfgren N, Lindcrantz K, Thordstein M, Hedström A, Wallin BG, Andreasson S, *et al.* Remote sessions and frequency analysis for improved insight into cerebral function during pediatric and neonatal intensive care. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2003; 7(4):283–90. <https://doi.org/10.1109/titb.2003.821330>
9. Wirrell EC, Grinspan ZM, Knupp KG, Jiang Y, Hammeed B, Mytinger JR, *et al.* Care delivery for children with epilepsy during the COVID-19 pandemic: An international survey of clinicians. *J Child Neurol.* 2020; 35(13):924–33. <https://doi.org/10.1177/0883073820940189>
10. Sauleau P, Despatin J, Cheng X, Lemesle M, Touzery-de Villepin A, N'Guyen The Tich S, *et al.* National French survey on tele-transmission of EEG recordings: More than a simple technological challenge. *Neurophysiol Clin.* 2016; 46(2):109–18. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2016.03.001>
11. Lavin B, Dormond C, Scantlebury MH, Frouin P-Y, Brodie MJ. Bridging the healthcare gap: Building the case for epilepsy virtual clinics in the current healthcare environment. *Epilepsy Behav.* 2020; 111(107262):107262. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2020.107262>