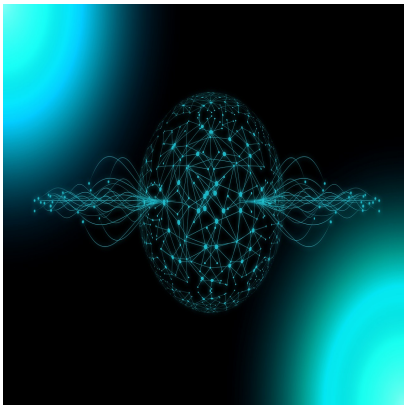

La rivoluzione dell’ECG, dalla carta all’Intelligenza Artificiale

Descrizione

Giovanni Falsini, Direttore UOC Cardiologia Valdarno, già cardiologo interventista presso l’Azienda USL Toscana Sud-Est, Zona Operativa Arezzo. Dal 2006 si occupa di qualità, rischio clinico e accreditamento di cui è il referente per il Dipartimento Cardio-Toraco-Vascolare e Neurologico dell’Azienda USL Toscana Sud-Est.

Dall’introduzione del termine da parte di Einthoven nel 1892, alle prime registrazioni su carta del 1903, all’avvento del digitale negli anni ’50, ai giorni nostri, l’ECG viene impiegato in maniera pressoché inalterata. L’avvento dell’intelligenza artificiale (AI) applicata all’ECG e la possibilità reale di elaborare grosse quantità di dati (DEEP-Learning ECG), oltre all’introduzione di tecnologie indossabili, aprono ad una nuova era portando il “vecchio” ECG in campi ancora non completamente esplorati. Così sono diventate realtà sia l’interpretazione automatica esperta dell’ECG, superiore a quella umana, sia l’analisi predittiva di patologie a venire, cosa impossibile per l’essere umano .

Per primo l’italiano Carlo Matteucci, matematico, precursore in elettrochimica ed elettrofisiologia, influenzato dai risultati di Luigi Galvani, registrò nel 1828 l’attività muscolare elettrica nella rana.

Solo 50 anni dopo, nel 1887, il fisiologo britannico Augustus Desirè Waller, presso il St. Mary’s Hospital di Londra, mediante uno strumento, l’elettrometro, inventato 25 anni prima dal fisico francese Gabriel Lippmann (premio Nobel per la fisica nel 1908), registrò per primo l’attività elettrica cardiaca nell’uomo.

Il termine di elettrocardiogramma fu coniato successivamente da Willem Einthoven nel 1892. Sempre Einthoven nel 1901 realizzò il primo galvanometro in grado di registrare una traccia ECG a tre vie. Da allora, in pochissimo tempo, gli elettrocardiografi vennero prodotti industrialmente e già nel 1909 vennero commercializzati negli Stati Uniti. Nel 1924 W. Einthoven fu insignito del Premio Nobel per la medicina per avere inventato l’elettrocardiografo. I primi elettrocardiografi prodotti registravano una traccia su carta inizialmente su un solo canale (penna ad inchiostro), poi su tre canali (mediante penne calde su carta termosensibile).

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

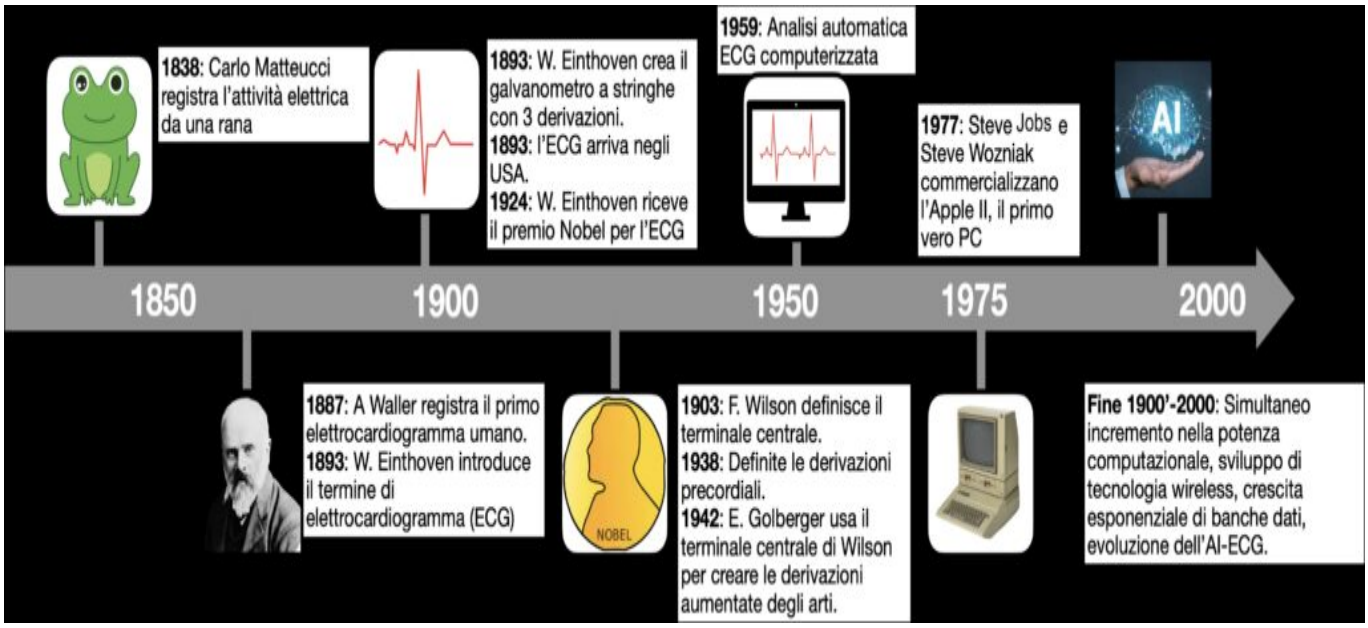

Fig. 1. Linea temporale dello sviluppo e avanzamenti dell'ECG.

Standardizzazione dell'ECG su carta:

Fino dagli inizi delle registrazioni ECG furono definiti, unitamente agli standard tecnici degli apparecchi (taratura e filtraggio del segnale elettrico), gli standard di registrazione (posizione elettrodi), la tipologia della carta (quadrettata), la velocità di scorrimento della carta. Pertanto qualsiasi medico adeguatamente formato era, ed è tutt'ora, in grado di interpretare l'ECG.

L'analisi ECG, dagli albori dell'elettrocardiografia ai giorni nostri, si basa sul confronto da parte del medico con i parametri di riferimento delle varie onde ECG che definiscono lo stato di normalità.

Interpretazione computerizzata dell'ECG:

Con l'avvento del digitale rapidi progressi tecnologici portarono e resero possibili, alla fine degli anni '50, l'interpretazione automatica dell'ECG da parte dei nuovi apparecchi.

Nel 1971 fu definito un algoritmo, l'algoritmo di Glasgow, basato su una sequenza di passaggi che vanno dalla processazione automatica del segnale elettrico, basata sul riconoscimento di punti fiduciali, alla successiva analisi del ritmo, alla misurazione accurata degli intervalli definiti del tracciato. L'algoritmo di Glasgow, attualmente impiegato da tutti i produttori di elettrocardiografi, tenendo conto di criteri specifici del paziente quali sesso, età, genere e razza, assicura un buon livello di accuratezza permettendo il riconoscimento completo dell'ECG a riposo, delle anomalie più comuni,

compresa l'interpretazione pediatrica e il riconoscimento dell'infarto miocardico acuto.

I limiti dell'analisi automatica furono da subito riconosciuti e, nonostante il continuo miglioramento degli algoritmi ECG e delle tecnologie costruttive degli apparecchi, non sono stati ancora risolti. Così questi limiti portano a letture errate di alcune aritmie, dei disturbi di conduzione e dei ritmi da pacemaker. Il valore predittivo diagnostico negativo di questo algoritmo è comunque alto rendendo questi apparecchi particolarmente utili nei sistemi di emergenza come ad esempio nelle reti STEMI pur esistendo, in questo ambito, ampie variazioni nei risultati falsi positivi e falsi negativi. Per tutte queste limitazioni la rilettura sistematica dei tracciati con interpretazione automatica rimane obbligatoria.

L'avvento di internet

Lo sviluppo dei personal computer, a partire dalla metà degli anni 70, e il successivo avvento di internet, ha permesso un nuovo passo in avanti nell'interpretazione dell'elettrocardiogramma. Alla fine degli anni '90 e nel primo decennio del 2000 si è assistito ad un aumento continuo della potenza di calcolo dei computer, alla comparsa di tecnologie wireless e indossabili, alla evoluzione dell'intelligenza artificiale (AI) e alla crescita esponenziale della disponibilità di banche dati.

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

Le ricadute nella pratica clinica sono in continuo divenire.

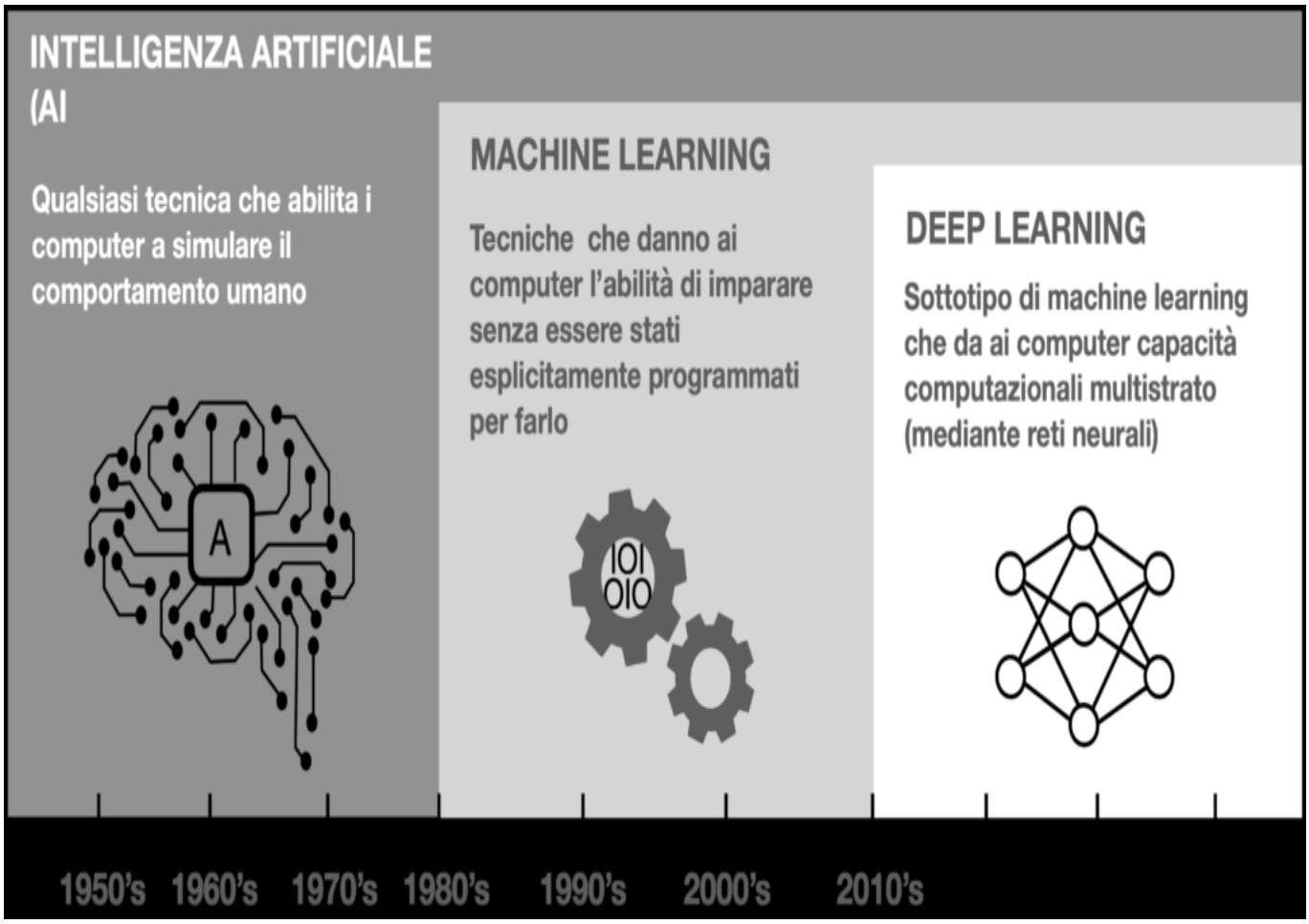

Fig. 2. Sviluppo dell'intelligenza artificiale, della machine-learning e deep-learning.

Intelligenza artificiale (AI), *machine learning e deep learning*

Per intelligenza artificiale si intende qualsiasi tecnologia che abilita i computer a simulare il comportamento umano. Le prime applicazioni di IA risalgono agli anni '50, ma solo negli anni '80 si iniziò a parlare di apprendimento automatico (*machine learning*) dei computer, termine che comprende tutte le tecniche che conferiscono ai computer l'abilità di imparare senza essere esplicitamente programmate per farlo (senza seguire un algoritmo decisionale precostituito).

Il *machine learning* è una delle tecniche più potenti di intelligenza artificiale, in grado di gestire e analizzare in modo efficiente grandi quantità di dati, auto-apprendere per fornire previsioni accurate, decisioni automatizzate e offrire vantaggi senza precedenti.

Il *Deep Learning* è una tecnica di apprendimento in cui si espongono reti neurali artificiali a vaste quantità di dati in modo che possano imparare a svolgere compiti in maniera automatica.

Solo la recente disponibilità di banche dati di grandissime dimensioni provenienti da fonti disparate, amministrative e cliniche, lo sviluppo di sistemi di calcolo parallele basati su GPU (*graphics processing unit*) e l'ottimizzazione dei sistemi di addestramento delle reti neurali hanno reso possibile le applicazioni pratiche dell'AI.

Il *Deep Learning* costituisce dunque una delle principali fonti di successo dell'Intelligenza Artificiale.

Grazie alle reti neurali artificiali in grado di analizzare automaticamente dati quali immagini, video, audio o serie temporali, questo ambito sta vivendo anni di rapido progresso, arrivando a superare le prestazioni degli esseri umani.

L'intelligenza artificiale nella vita quotidiana.

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

L’Intelligenza Artificiale non è fantascienza, è la rivoluzione tecnologica che stiamo vivendo.

Molte applicazioni dell’IA, alcune diventate praticamente indispensabili, stanno permeando attualmente la nostra realtà quotidiana. Si va dai sistemi di riconoscimento facciale impiegati in contesti specifici, agli assistenti vocali (Alexa, Google Assitant, Siri), ai sistemi di navigazione satellitari, alle app di notifica, ai traduttori istantanei, ai sistemi di guida autonoma e tanti altri.

Ogni volta che facciamo una ricerca su Internet, l’Intelligenza Artificiale sta già operando da remoto, sul nostro dispositivo, mostrandoci i risultati che ritiene più adatti a noi, e lo fa con una precisione inquietante.

Come in altri settori, anche in medicina l’IA sta rendendo possibili applicazioni prima nemmeno pensabili, soprattutto per la recente disponibilità di apparecchi indossabili.



Fig. 3: dispositivi indossabili in grado di registrare l’ECG.

Intelligenza artificiale applicata all’ECG

Recenti progressi tecnologici e informatici hanno fornito nuovo impulso all’elettrocardiografia.

I più rilevanti sono: 1) i sistemi indossabili di acquisizione dell’ECG (*smartwatches*) e i dispositivi impiantabili in campo cardiologico che, con il continuo sviluppo di tecnologie connesse, il cosiddetto *internet of things* (IoT), rende molto più

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

semplice la registrazione ECG durante la vita quotidiana e il collegamento a sistemi di IA predittivi; 2) la disponibilità di grandi database di ECG che rendono possibile lo sviluppo pratico della *deep-learning* (AI-ECG) ; 3) i software di interpretazione ECG basati sull'intelligenza artificiale (AI) che amplificano la capacità di elaborare grandi quantità di dati e di trovare schemi precedentemente sconosciuti anche ai cardiologi esperti.

(Kashou AH et al. *Artificial Intelligence-Enabled ECG: a Modern Lens on an Old Technology. Current Cardiology* Reports (2020) 22:57*)*

***Deep-learning* applicata all'ECG**

Si tratta dell'ultima applicazione dell'IA, una tecnica che mediante la comparazione di un ECG con una estesa rete di ECG e di dati clinici associati (i cosiddetti big-data) permette delle analisi predittive accurate che sono impossibili per l'uomo.

In sintesi (fig. 3):

(1) un segnale ECG viene convertito in una registrazione digitale, risultando in un elenco di valori numerici corrispondenti all'ampiezza del segnale;

(2) questi valori numerici vengono quindi combinati con quelli della rete e pesati all'interno di ciascuna derivazione e tra le derivazioni;

(3) questo alimenta strati sequenziali di convoluzioni fino al raggiungimento dell'output del modello finale;

(4) da una acquisizione ECG di pochi secondi questo sistema permette di rilevare ad esempio la comparsa di FA in un lungo periodo. Si stanno affermando diverse applicazioni pratiche della deep-learning AI-ECG come indicato nel paragrafo successivo.

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

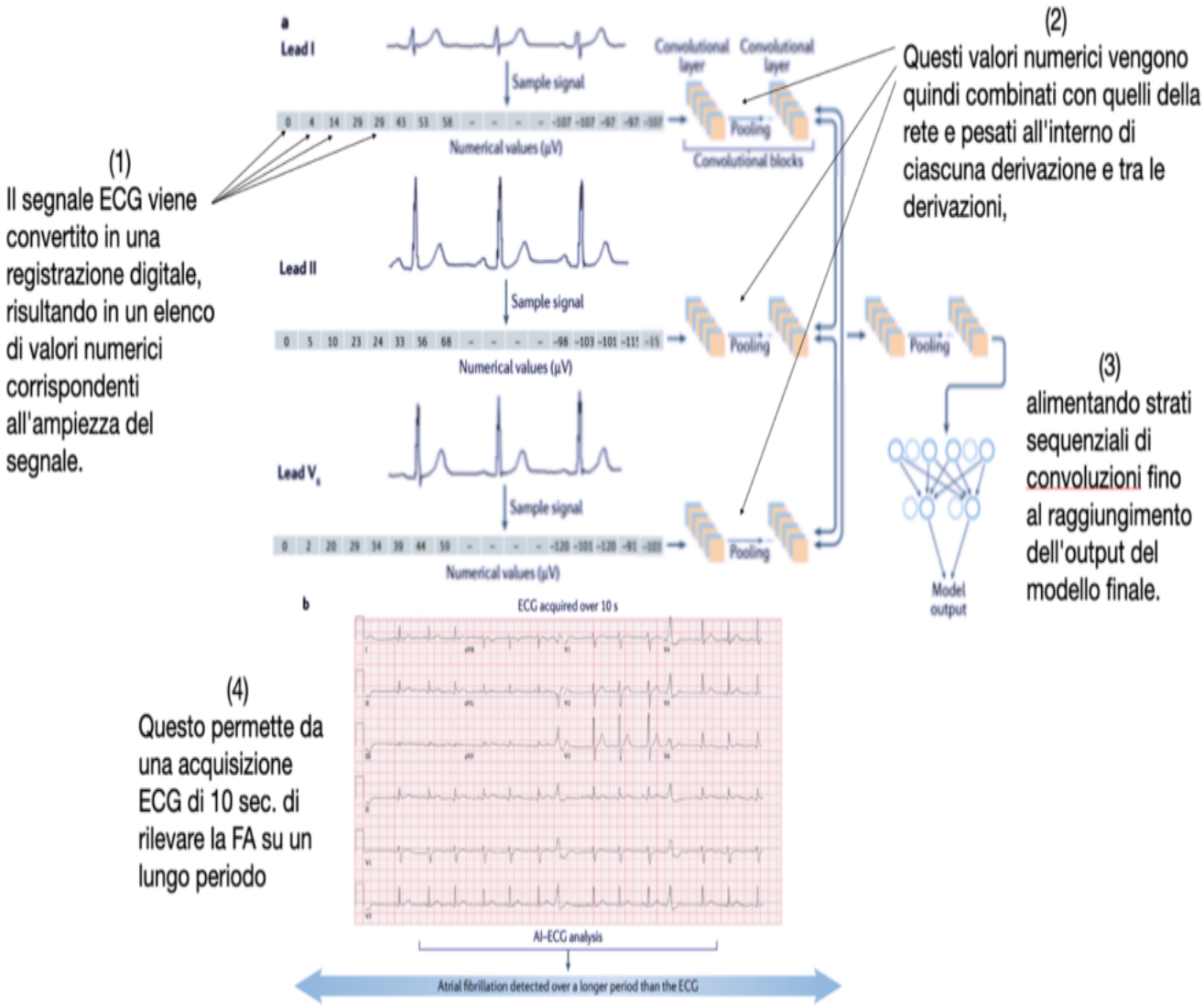

Fig. 3. *Schema del deep learning* applicato all'ECG. (Da Konstantinos C. Siontis*. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. Nature Reviews. Cardiology.* Vol 18, July 2021 | 465)

Le applicazioni pratiche dell'AI in elettrocardiografia

Quanto illustrato non rappresenta solo una mera possibilità sperimentale.

Al momento sono due le applicazioni dell'IA nell'elettrocardiografia:

1. **L'interpretazione dell'ECG esperta simile e/o superiore a quella umana** grazie all'IA è diventata possibile. Secondo uno studio dell'Università Belo Horizonte (Br) e Università di Glasgow (UK) che utilizza una rete neurale di ECG (DNNs= *deep neural networks*) di circa 2.300.000 ECG, l'applicazione dell'IA all'ECG è risultata superiore ai medici residenti in cardiologia nel riconoscere 6 tipi di anomalie nelle registrazioni dell'ECG a 12 derivazioni, (BAV, BBD, BBS, bradicardia sinusale, tachicardia sinusale (Fibrillazione atriale), con punteggi di concordanza superiori all'80% e specificità superiori al 99% (Ribeiro, A. H. et al. *Automatic diagnosis of the 12-lead ECG using a deep neural network.* Nat. Commun. 11, 1760 (2020).

La diagnostica predittiva grazie all'AI: attraverso l'utilizzo e la interpretazione dell'ECG del paziente, confrontate con grandi database clinici, si possono cogliere i primi segnali di alcune malattie e fare diagnosi accurate, cosa che non è nemmeno pensabile possa fare un cardiologo esperto.

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze

Gli algoritmi predittivi al momento sviluppati consentono di definire da un ECG estemporaneo: sesso, età del paziente, la probabilità di FA silente, la probabilità di bassa Frazione di eiezione del ventricolo sinistro, la probabilità di cardiomiopatia ipertrofica. In questo campo ci sono studi che hanno validato la metodica (Konstantinos C. Siontis. *Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. Nature Reviews. Cardiology.* Vol 18, July 2021 | 465).

Sono in fase di sviluppo algoritmi predittivi anche per la probabilità di stenosi aortica e di amiloidosi. Altre possibilità sono rappresentate da: stima dei livelli di potassiemia, la gestione della terapia antiaritmica (es monitoraggio del QT con farmaci in grado di aumentarlo) e infine la gestione della terapia "*pill-in-the-poket*" guidata dall'ECG nella Fibrillazione Atriale Parossistica. Recentissimo uno studio della Mayo Clinic su *Nature Medicine* che documenta la capacità di identificare precocemente la disfunzione ventricolare sinistra mediante uno smartwatch con AI-ECG (Zachi I Atttai et al. *Prospective evaluation of smartwatch-enabled detection of left ventricular dysfunction*. Nat Med 2022 Nov 14).

La scienza dell'implementazione dell'ECG potenziato dall'IA (AI–ECG), inclusa l'interfaccia tra i pazienti e l'output dell'AI–ECG, l'integrazione degli strumenti AI–ECG con le cartelle cliniche elettroniche, i problemi di privacy dei pazienti e le implicazioni in termini di costi e rimborsi, sono tutti aspetti in continua evoluzione.

CONCLUSIONI

Come ogni grande innovazione tecnologica, l'Intelligenza Artificiale ha (e avrà sempre più in futuro) ricadute importanti, come in altri settori della società, anche in medicina.

Nel campo dell'elettrocardiografia stiamo assistendo ad una rivoluzione che trova già oggi delle applicazioni pratiche.

L'interpretazione automatica computerizzata dell'ECG grazie a queste nuove tecnologie sta entrando nella fase di maturità con risultati di analisi nettamente superiori a quelli di cardiologi esperti.

La più recente analisi predittiva dell'ECG si sta già imponendo come un potente strumento per la fenotipizzazione della salute e della malattia cardiaca.

Il cardiologo dovrà comprendere appieno le possibilità offerte da questi nuovi strumenti di lavoro, seguirne il progresso e guidarne l'applicazione pratica.

giofalsini@gmail.com

CATEGORY

1. Scienza e professione

POST TAG

1. Studi e ricerche

Categoria

1. Scienza e professione

Tag

1. Studi e ricerche

Data di creazione
20/06/2023
Autore
redazione-toscana-medica
Campi meta
Nome E Cognome Autore 1 : Giovanni Falsini
Views : 9800

Ordine Provinciale dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri Via G.C. Vanini, 15 – 50129 Firenze Tel. 055 496522 Fax 055 481045 email protocollo@omceofi.it. Copyright by Ordine dei Medici Chirurghi e degli Odontoiatri della Provincia di Firenze