



L'ASSISTENZA SANITARIA INTELLIGENTE

non è soltanto un processo di innovazione tecnologica ma una sfida dell'intero sistema sanitario

L'ASSISTENZA SANITARIA INTELLIGENTE

non è soltanto un processo di innovazione tecnologica ma una sfida dell'intero sistema sanitario

SOMMARIO

Abstract

PARTE I^a – ELEMENTI DI CONOSCENZA

1. Introduzione
2. L'assistenza sanitaria intelligente
3. Le tecnologie chiave dell'assistenza sanitaria intelligente
4. Lo stato dell'applicazione dell'assistenza sanitaria intelligente
 - 4.1. Assistenza alla diagnosi e al trattamento
 - 4.2. Gestione della salute
 - 4.3. Prevenzione delle malattie e monitoraggio dei rischi
 - 4.4. Assistenti virtuali
 - 4.5. Ospedali intelligenti
5. Problemi e soluzioni
6. Riepilogo

PARTE II^a – ARCHITETTURA DI RETE 5G

7. Classificazione dei parametri e dei requisiti di rete
8. Tecnologie di comunicazione
 - 8.1. Corto raggio
 - 8.2. Ampio raggio
9. Requisiti di rete
 - 9.1. Latenza ultra bassa
 - 9.2. Elevata larghezza di banda
 - 9.3. Altissima affidabilità
 - 9.4. Alta durata delle batterie
10. Obiettivi di efficienza
 - 10.1. Ottimizzazione delle risorse
 - 10.2. Miglioramento della qualità del servizio
 - 10.3. Riduzione delle interferenze
 - 10.4. Migliorare l'efficienza energetica
11. Le misure di rendimento
 - 11.1. Velocità dati
 - 11.2. Throughput
 - 11.3. Rapporto di perdita di pacchetti
 - 11.4. Ritardo end-to-end
 - 11.5. Energia richiesta
12. Le misure di rendimento
13. Conclusioni

PARTE IIIª – UN NUOVO MODELLO

14. Introduzione
15. Il diritto alla salute
16. I costi della sanità
17. La medicina di famiglia
18. Un nuovo modello di assistenza
 - 18.1. Cure a casa del paziente
 - 18.2. Rete e Promozione della salute
 - 18.3. Smart healthcare cloud
 - 18.4. Smart clinic collaboration
 - 18.5. Digital photography in skin screening
 - 18.6. Real-Time Communications
 - 18.7. Rete aggiornamento professionale e formazione
19. Coesione sociale e divari territoriali

PARTE IVª – LE EPIDEMIE

20. Introduzione
21. Le malattie infettive
22. Il forward triage e il ruolo del medico di fiducia
23. Modello matematico per lo studio del coronavirus
24. Diffusione spazio-temporale del COVID-19

PARTE Vª – CLOUD SYSTEM

25. Smart Healthcare System
26. Sensori IoT e Client UX
27. Monitoraggio e diagnosi del paziente
 - 26.1. Assistenza in ambiti ristretti
 - 26.2. Prevenzione
 - 26.3. Gestione delle malattie croniche
 - 26.4. Assistenza a breve termine
28. Cloud Smart Healthcare
 - 28.1. User Management
 - 28.2. Client services
 - 28.3. Reporting & Analytics
 - 28.4. Enterprise integration
 - 28.5. Embedded SQL Data Store
 - 28.6. Push Notification

PARTE VIª - CASI DI STUDIO

29. Introduzione
30. COVID-19: Checkup della popolazione
 - 29.1. Cittadino responsabile
 - 29.2. Cittadino distratto
 - 29.3. Cittadino ansioso
31. I vantaggi di un sistema intelligente
32. Panico e COVID-19
33. Cardiopatie, Intelligenza artificiale e big data
 - 33.1. Fase 1 - acquisizione dei dati
 - 33.2. Fase 2 - estrazione delle caratteristiche
 - 33.3. Fase 3 – apprendimento
 - 33.4. Fase 4 - previsione

VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Abstract

L'assistenza sanitaria sta subendo una rapida trasformazione: dalla visita ambulatoriale presso il medico di famiglia e dal tradizionale rapporto ospedaliero, all'approccio integrato tra medicina e paziente.

Nascono piattaforme dedicate e tecnologie informatiche (IT) che aiutano pazienti e medici ad adottare stili di vita corretti, a prevenire malattie gravi e a seguire con più facilità il percorso di cura con servizi sanitari personalizzati.

Con l'emergente 5G, le esigenze delle future applicazioni sanitarie si prospettano in grado di fornire funzionalità ad alta velocità ed anche più capacità di sistema.

In tale scenario le caratteristiche di rete in termini di banda larga, velocità di trasmissione, alta affidabilità e bassa latenza, consentiranno di soddisfare richieste sempre più complesse generate da una tipologia di dati sanitari che variano per dimensione e formato.

Questo documento passerà in rassegna lo stato attuale dell'assistenza e la sua proiezione basata sulle nuove tecnologie, non trascurando i problemi e le difficoltà emersi con il COVID-19 che dovranno essere affrontati e superati.

Proporrà un nuovo modello di sanità che, in sinergia tra medicina generale e soluzioni digitali, sarà in grado di creare un ecosistema sanitario vantaggioso per l'intera comunità.

Dimostrerà, con casi di studio, come è possibile monitorare giornalmente tutti i cittadini e cogliere per tempo i sintomi del contagio.

Prenderà così forma un tipo di sanità intelligente ("*Smart healthcare*"), come sfida globale chiamata a rivedere le politiche e i servizi, in una società nella quale sono chiamati a relazionarsi progresso scientifico da una parte e, dall'altra, medici e cittadini, ospedali e istituti di ricerca.

PARTE I^a – ELEMENTI DI CONOSCENZA

1. Introduzione
2. L'assistenza sanitaria intelligente
3. Le tecnologie chiave dell'assistenza sanitaria intelligente
4. Lo stato dell'applicazione dell'assistenza sanitaria intelligente
 - 4.1. Assistenza alla diagnosi e al trattamento
 - 4.2. Gestione della salute
 - 4.3. Prevenzione delle malattie e monitoraggio dei rischi
 - 4.4. Assistenti virtuali
 - 4.5. Ospedali intelligenti
5. Problemi e soluzioni
6. Riepilogo

1. Introduzione

Per più di 20 secoli, da Ippocrate in poi, il rapporto tra medici e pazienti (e loro familiari) è rimasto una costante della civiltà occidentale.

Oggi c'è l'esigenza di rivedere le modalità di tale rapporto ed anche l'esercizio della medicina in quanto pratica, compresi i modelli di erogazione dei servizi, per spiegare le patologie e gli interventi terapeutici.

Questo cambiamento coinvolge il sistema sanitario su più livelli: il modello di medicina (dalla cura centrata sulla malattia a quella centrata sul paziente), la pratica medica (dalla gestione generale alla gestione personalizzata), il concetto di prevenzione e cura (dal trattamento delle malattie all'assistenza sanitaria preventiva) e il sistema di digitalizzazione (dalla cartella clinica all'assistenza sanitaria intelligente).

Sul piano economico, poi, le tecnologie al servizio della sanità sono diventate uno dei fattori che maggiormente hanno segnato la crescita dell'economia in molti paesi europei (Germania, Regno Unito, Svezia e Paesi Bassi).

Questi Paesi, assieme agli Stati Uniti, dispongono infrastrutture avanzate per distribuire applicazioni informatiche sanitarie di ultima generazione.

Secondo alcune stime dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), in Europa la spesa media per l'assistenza sanitaria intelligente rappresenta circa il 10% del prodotto interno lordo (PIL) e prevede, per i prossimi anni, un possibile risparmio di costi sanitari pari a circa 99 miliardi di euro.

Quanto illustrato per sottolineare l'importanza di una revisione profonda della sanità e la creazione di un nuovo modello di assistenza che ponga al centro dell'attenzione il cittadino e il suo diritto alla salute.

In questo capitolo illustreremo le nuove tecnologie informatiche che possono contribuire a creare un servizio sanitario intelligente e a ridurre sensibilmente i costi dell'assistenza.

2. L'assistenza sanitaria intelligente

Questo tipo di assistenza è stata battezzata con il nome “*Smart healthcare*” e si prefigge un approccio incentrato sul rapporto organico tra medico e paziente.

In tale contesto, un ruolo chiave lo gioca “*internet of things*” (IoT), un neologismo riferito all'estensione di Internet, collegato al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti.

In tempi recenti sono state proposte applicazioni sanitarie, come integrazione di servizi delle reti mobili wireless, e il monitoraggio da remoto della salute effettuato in tempo reale.

Esistono poi dispositivi indossabili (sensori, smartwatch, indumenti intelligenti) che raccolgono informazioni sullo stato di salute del paziente e le trasmettono via Internet a un cloud computing.

In parole semplici la *Smart healthcare* è una tipologia di servizio sanitario che ruota attorno a quelle tecnologie in grado di fornire assistenza tramite gadget intelligenti, contribuendo a ridurre al minimo le cure mediche, a migliorare la qualità della vita e a ridurre i costi.

3. Le tecnologie chiave dell'assistenza sanitaria intelligente

Le tecnologie dell'informazione, assieme alla moderna biotecnologia, costituiscono le pietre miliari dell'assistenza sanitaria intelligente.

Internet of Things (IoT), in particolare, è considerata una tecnologia tanto importante da meritare una adeguata definizione del suo significato e una più ampia illustrazione della sua utilità.

Fra le diverse definizioni esistenti in letteratura la più adeguata è quella data da IECR (European Research Cluster). Internet of Things è definita un'infrastruttura di rete dinamica che ha la capacità di auto-configurarsi sulla base di protocolli di comunicazione interoperabili.

In altre parole, è un'infrastruttura di rete flessibile, complessa e dinamica che collega chiunque, qualsiasi cosa, sempre, ovunque, e per qualsiasi servizio.

Inoltre, con il sistema wireless 5G all'orizzonte, l'IoT sarà al centro della scena e costituirà una parte significativa di questo nuovo paradigma, in grado di fornire più funzionalità, alta velocità, capacità e scalabilità.

IoT ed altre tecnologie svolgono un ruolo importante per una serie di servizi sanitari a pazienti, nonché forniscono aiuti a medici e ad ospedali, non dimenticando i centri di ricerca.

Dal lato dei pazienti, poi, vanno evidenziati i dispositivi indossabili (*wearables devices*) che servono a monitorare, in auto controllo, la salute degli stessi pazienti e a realizzare, in qualsiasi momento, un collegamento con assistenti virtuali allocati nel cloud computing.

Dal lato dei medici, la tecnologia IoT viene utilizzata in una varietà di sistemi intelligenti come supporto alle decisioni cliniche per migliorare la diagnosi.

Dal lato degli ospedali, la tecnologia IoT può essere utilizzata per gestire il personale e la catena di approvvigionamento.

Dal punto di vista degli istituti di ricerca, l'uso dell'intelligenza artificiale e dei big data può facilitare l'attività di screening per analizzare e abbinare un gran numero di casi.

Attraverso l'uso di queste tecnologie, la sanità diventa intelligente e può ridurre efficacemente i costi dell'assistenza e i rischi delle procedure mediche, può migliorare l'efficienza delle risorse e promuovere scambi e cooperazione in luoghi diversi, può facilitare lo sviluppo della telemedicina e, in definitiva, rendere sempre presenti i servizi personalizzati.

4. Lo stato delle applicazioni dell'assistenza sanitaria intelligente

In tema di applicazioni dell'assistenza sanitaria ecco una piccola rassegna in base alle diverse tipologie di attività:

1. *Assistenza alla diagnosi e al trattamento*
2. *Gestione della salute*
3. *Prevenzione delle malattie e monitoraggio dei rischi*
4. *Assistenti virtuali*
5. *Ospedali intelligenti*

4.1. Assistenza alla diagnosi e al trattamento

Utilizzando l'intelligenza artificiale si può costruire un sistema di supporto alle decisioni cliniche con un'accuratezza, in termini di risultati, di gran lunga superiore rispetto alle diagnosi normalmente effettuate da medici o da altro personale sanitario.

Il merito spetta agli algoritmi che, consentendo una più accurata descrizione dello stato della malattia e delle condizioni di salute del paziente, aiutano a sviluppare un piano di trattamento più efficace e personalizzato.

Un esempio interessante può essere verificato nella radioterapia tumorale. Il processo di radioterapia del paziente può essere monitorato dinamicamente da algoritmi effettuando l'analisi intelligente delle immagini, con risultati di tipo quantitativo e qualitativo non sempre rilevabili con la semplice osservazione visiva da parte dell'operatore.

Con tale metodologia i medici possono ottimizzare il programma di radioterapia, osservare i progressi della malattia ed evitare eventuali incertezze dell'operazione effettuata dal personale.

In materia di chirurgia, poi, la nascita dei robot ha portato questo ramo della medicina a un nuovo livello con interventi a distanza, mentre in chirurgia endoscopica con le nuove tecnologie si ottengono risultati migliori di quelli manuali e con un recupero più rapido.

Conclusivamente, l'emergere di questa tecnologia porterà cambiamenti rivoluzionari nell'educazione medica e nel trattamento clinico-chirurgico.

4.2. Gestione della salute

Le malattie croniche, in questi ultimi decenni, hanno gradualmente occupato la parte più alta dello spettro delle malattie umane e sono diventate una nuova epidemia.

Queste malattie hanno un lungo decorso e sono incurabili e costosi, conseguentemente la loro gestione è meritevole di essere presa in seria considerazione.

Il tradizionale modello incentrato sull'ospedale ha dimostrato di non essere efficacemente adeguato in termini di cure e di costi, dato il numero crescente di malattie e di pazienti.

Il nuovo modello presta invece maggiore attenzione all'autogestione da parte dei pazienti che, in tal modo, sono chiamati ad esercitare un efficace autocontrollo in tempo reale e, qualora necessario, a chiedere l'intervento tempestivo del medico curante.

Inoltre lo sviluppo di dispositivi intelligenti, impiantabili o indossabili, e le piattaforme di informazioni sanitarie connesse con la tecnologia *IoT* offrono una idonea soluzione a diverse situazioni mediche, migliorando il comfort del paziente, liberandolo dalla sensazione di un'eccessiva pressione mentale ed emotiva (stress), e consentendo lo scambio o il confronto dei dati con le informazioni sanitarie di altri canali.

Questo approccio favorisce un salto di qualità: dal monitoraggio degli scenari alle cure integrate, riducendo gli eventuali rischi associati all'andamento della malattia e facilitando la prognosi da parte del personale medico.

Infine, un'idea più performante è quella di creare un “*framework mHealth*” aperto, che consenta a medici e pazienti, a ricercatori e ospedali di mantenersi connessi con dispositivi mobili, a qualunque distanza, per ridurre eventuali errori o difficoltà di cure, migliorare servizi o fornire opzioni economiche per altri servizi sanitari aggiuntivi.

4.3. Prevenzione delle malattie e monitoraggio dei rischi

Il metodo tradizionale per la prevenzione del rischio malattia si basa sull'iniziativa delle strutture sanitarie di raccogliere informazioni sui pazienti e confrontarle con le linee guida delle Autorità ed Organizzazioni sanitarie.

Questo approccio non tiene conto della velocità con la quale si possono propagare talune malattie, non garantisce l'accuratezza dei dati raccolti e il grado di corrispondenza con i dati reali. Di conseguenza è un metodo che non fornisce informazioni sufficientemente accurate ed in tempi congrui per assumere decisioni, con conseguenze che possono dimostrarsi decisivi per la salute o la vita dei cittadini.

Le dinamiche del coronavirus e gli effetti prodotti sono un esempio eclatante che non ha bisogno di commento alcuno per essere dimostrato.

La prevenzione del rischio di malattia nell'ambito dell'assistenza sanitaria intelligente, invece, è dinamica, precisa e personalizzata. In altri termini è misurabile nella sua entità, nel suo valore, nella sua importanza e nella sua gravità.

Questo modello di prevenzione raccoglie i dati attraverso dispositivi indossabili e/o applicazioni intelligenti, li carica sul cloud centrale che li elabora con algoritmi basati su modelli matematici e, con l'aiuto dei *big data*, si trova nelle condizioni di fornire in tempo reale risultati e indicazioni alle Autorità sanitarie e politiche.

In questo documento saranno presentati alcuni casi di studio (COVID-19) che dimostreranno come tale approccio possa consentire a pazienti e medici di partecipare, monitorare in modo proattivo il rischio di malattia e condurre una prevenzione mirata in base ai risultati dei propri controlli.

4.4. Assistenti virtuali

Diciamo subito che l'assistente virtuale non è una persona, ma un algoritmo.

Gli assistenti virtuali comunicano con i soggetti protagonisti attraverso tecniche o applicazioni intelligenti, fanno affidamento sui *big data* come fonte di informazione e rispondono in base alle preferenze o alle esigenze dell'utente dopo verifiche e calcoli.

Utilizzano anche la tecnologia di comprensione del linguaggio per aiutare gli utenti nella creazione di promemoria secondo la terminologia medica, fanno da ponte per mettere in comunicazione medici, pazienti e istituzioni mediche, consentendo in tal modo di coordinare procedure e metodi di somministrazione della terapia con notevole risparmio di tempo e di risorse umane.

4.5. Ospedali intelligenti

I problemi che spesso si presentano negli ospedali tradizionali riguardano da una parte la carenza di servizi ottimali correlati agli alti costi di gestione e alle limitate risorse disponibili,

dall'altra l'assenza di dialogo con i medici di famiglia e con gli ammalati, e infine la mancanza di una rete che metta in connessione ospedali con centri di ricerca.

Gli ospedali intelligenti (*Smart hospitals*) invece, basandosi su tecnologie incentrate su dispositivi *IoT*, cambiano il volto degli ospedali tradizionali, potendo garantire servizi efficienti, un migliore impiego delle risorse, il collegamento con altre strutture ospedaliere e con i medici di medicina generale, diventando in tal modo essi stessi “*nod*i” di più ampio ecosistema di erogazione di servizi sanitari.

Dal lato dei pazienti, poi, le nuove tecnologie hanno favorito la nascita di nuove aspettative che richiedono prestazioni più efficienti e in ambienti confortevoli, quasi come a casa propria.

In tale contesto per gli ospedali tradizionali, sino ad oggi centro del sistema, non fare nulla non è un'opzione.

Ben presto gli ospedali tradizionali saranno chiamati a ridefinirsi, a riprogettare le modalità di trattamento dei pazienti e, anche, a cedere attività che possono essere esternalizzate ad altri che possono gestirle in modo più efficace e più efficiente.

Oggi diversi fattori minano la sostenibilità degli ospedali tradizionali:

- alcuni riguardano lo stato sociale della popolazione (invecchiamento e l'aumento della domanda di servizi);
- altri sono di tipo gestionale: sprechi di risorse e incapacità di attuare strategie di prevenzione, eccesso di medicazione e sottoutilizzo di servizi e, infine, prestazioni sanitarie di modesto “*value*”;
- altri ancora attengono alla incapacità di sapere valutare i reali bisogni di salute del paziente o di sapere scegliere il luogo più adeguato dove erogare l'assistenza (ospedale, day hospital, ambulatorio, domicilio).

A ciò si aggiunge il fatto, assai grave, che l'assistenza ospedaliera possa diventare poco sicura e gli errori possano verificarsi sempre più frequentemente, sia perché le cure sono complesse e sia perché l'ambiente è diventato particolarmente stressante,

Su tale argomento le statistiche valutano che negli ospedali la somministrazione di farmaci errati rappresenta il 38% degli errori complessivi nella terapia, il 39% si commettono subito dopo la prescrizione, il 12% degli errori riguardano la trascrizione e l'11% l'allestimento.

Per quanto riguarda la tipologia degli errori le casistiche riportano:

- somministrazione di farmaci errati o somministrati in dose errata;
- mancata verifica delle allergie ai farmaci somministrati;
- farmaci somministrati al paziente sbagliato o esami effettuati al paziente sbagliato;
- esecuzione di interventi chirurgici su organi e arti sbagliati;
- mancata vigilanza sul decorso delle malattie.

A tutto questo gli ospedali intelligenti (*Smart hospitals*) possono trovare rimedio con l'uso di tecnologie innovative incentrate su dispositivi *IoT* e con l'ausilio di assistenti virtuali. Tali strumenti, infatti, si prefiggono l'obiettivo di ottimizzare l'efficienza dei servizi, di migliorare la qualità dell'assistenza, di introdurre nuove funzionalità oltre che di ridurre i costi di gestione.

5. Problemi e soluzioni

Nei paragrafi precedenti sono stati illustrati i contributi che le nuove tecnologie possono dare alla efficienza dei servizi sanitari.

Tuttavia, con l'avanzare della scienza sorgono anche problemi, alcuni di tipo tecnico-gestionale altri, invece, attengono alle preoccupazioni sull'uso delle informazioni personali e alla violazione della privacy.

Un primo problema riguarda il costo delle tecnologie che, essendo ancora in fase sperimentale, richiedono una grande quantità di finanziamenti per essere mantenute ed aggiornate; e non solo, alcune di queste soffrono della mancanza di standard uniformi e, conseguentemente, presentano problemi di compatibilità tra piattaforme e dispositivi diversi.

Inoltre, qualcuno paventa che l'uso di queste tecnologie da parte di persone sprovviste di competenze sanitarie possa comportare il rischio della "*medicina fai da te*", con tutto quello che ne può venire fuori.

Questi problemi inducono molte persone a pensare che gli obiettivi di sviluppo delle nuove tecnologie siano poco chiari o, addirittura, uno spreco di risorse.

Senza dimenticare, infine, che alcune persone possano avere persino difficoltà a utilizzare le nuove tecnologie, con la conseguenza di possibili complicazioni o nuovi rischi, in atto non conosciuti, dovuti a un loro uso avventato.

Va subito detto che quanto esposto sono problemi reali che possono essere ricondotti a due fattori fondamentali: quello tecnologico e quello regolamentare.

Sul piano della tecnologia va rilevato che il sistema più performante è quello dell'informatica distribuita che, in ragione del servizio da espletare, delega l'elaborazione dei dati in parte al *cloud computing*, in parte al computer del medico di medicina generale e solo una piccola parte alle tecnologie in uso al paziente.

In tal caso i problemi possono essere ridotti notevolmente, specie se i dati da inviare sono "*dati grezzi*", cioè grandezze numeriche così come rilevate dai sensori, ai quali possono essere applicate tecniche di trasmissione con alta garanzia di sicurezza, come la "*blockchain*".

La *blockchain* è una tecnologia di registro digitale, strutturata come una catena di blocchi, la cui integrità è garantita dall'uso della crittografia ed il suo contenuto, una volta registrato, non può essere né modificabile né eliminabile, a meno di non invalidare l'intera struttura.

Conseguentemente, non esiste la necessità del formato standard di trasmissione, potendo i dati essere trasmessi in un formato leggibile da qualsiasi sistema operativo, la compatibilità rimane solo in campo al cloud e al sistema in uso al medico di famiglia.

Sul piano della privacy, poi, va rilevato che i dati da trasmettere vengono identificati soltanto da un codice, cioè sono privi di qualsiasi riferimento alla persona assistita. Conseguentemente, il problema non esiste.

Solo al medico di fiducia è dato conoscere i dati personali del paziente e solo a lui, limitatamente ai suoi assistiti, è concesso conoscere l'identità delle persone cui si riferiscono le cartelle cliniche.

Per quanto riguarda le tecnologie ancora in fase sperimentale va subito precisato che la scienza e l'intera costellazione dei dispositivi che si basano sull'intelligenza artificiale, si evolvono con velocità impressionante.

In tale visione, aspettare che essi si consolidino in formato standard prima di essere utilizzati significa farsi superare dal tempo. E in tema di salute pubblica nessuno se lo può permettere.

Non capire che la scienza va colta nel suo divenire significa rinunciare al progresso e ai grandi vantaggi che esso può offrire in tema di prevenzione sanitaria puntuale, di diagnosi rapida e precisa e di monitoraggio in tempo reale dello stato di salute del paziente.

Infine, in tema di regolamentazione il problema non esiste. Per i problemi non normati dalle leggi esistenti, si può sempre ricorrere ad apposito regolamento, in modo congruo con gli obiettivi di assistenza e di sviluppo dei servizi, cui dovranno attenersi tutti gli operatori sanitari ai vari livelli.

6. Riepilogo

Sulla base delle valutazioni espresse in questo documento, i vantaggi legati all'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) sono in grado di trasformare l'assistenza tradizionale in assistenza sanitaria intelligente con prospettive di grande respiro e molteplici benefici per i cittadini utenti e protagonisti.

Inoltre, stando agli studi effettuati in molti paesi membri dell'UE, la “*digital health*” è percepita come elemento di innovazione in grado di migliorare l'assistenza sanitaria e trasformare i pazienti in persone proattive, capaci di prestare maggiore attenzione alla cura della propria salute con ricadute positive anche sui costi per il sistema sanitario nazionale.

Per gli ospedali sia pubblici e che privati, le soluzioni digitali e le applicazioni intelligenti possono contribuire a creare un ecosistema digitale vantaggioso per l'intera comunità e possono aiutare a sviluppare collaborazioni sinergiche con la medicina generale e fornire ai medici di famiglia contributi specialistici a supporto delle decisioni cliniche per migliorare la diagnosi dei pazienti.

Infine, la “*digital innovation*” può dare agli ospedali una forte spinta a diventare “*nodo*” di un “*Smart Healthcare Network*”, seguendo il modello di “*ospedale diffuso*” all'interno di una *smart city*, e può partecipare ad una rete di ricerca europea e internazionale.

In tal modo la rete, per i medici di medicina generale, può rappresentare anche lo strumento prezioso di aggiornamento professionale, con ricadute positive sulla attività di monitoraggio delle malattie e della salute dei propri assistiti, al fine di promuovere stili di vita più sani ed ecosostenibili.

PARTE IIª – ARCHITETTURA DI RETE 5G

7. Classificazione dei parametri e dei requisiti di rete
8. Tecnologie di comunicazione
 - 8.1. Corto raggio
 - 8.2. Ampio raggio
9. Requisiti di rete
 - 9.1. Latenza ultra bassa
 - 9.2. Elevata larghezza di banda
 - 9.3. Altissima affidabilità
 - 9.4. Alta durata delle batterie
10. Obiettivi di efficienza
 - 10.1. Ottimizzazione delle risorse
 - 10.2. Miglioramento della qualità del servizio
 - 10.3. Riduzione delle interferenze
 - 10.4. Migliorare l'efficienza energetica
11. Le misure di rendimento
 - 11.1. Velocità dati
 - 11.2. Throughput
 - 11.3. Rapporto di perdita di pacchetti
 - 11.4. Ritardo end-to-end
 - 11.5. Energia richiesta
12. Approcci prestazionali
13. Conclusioni

7. Classificazione dei parametri e dei requisiti di rete

La spinta propulsiva per l'avvio dell'assistenza sanitaria intelligente è strettamente connessa al potenziamento della infrastruttura di rete nella quale l'emergente 5G rappresenta un asset fondamentale.

Conseguentemente la descrizione delle caratteristiche della rete 5G aiuta a capire meglio la strada da seguire nella realizzazione di applicazioni sanitarie di nuova generazione.

Nella struttura che segue (*Fig. 1*) sono illustrate le caratteristiche (di letteratura) del 5G, necessarie per la realizzazione di una rete efficiente e ottimale per il funzionamento della *smart health care*.

La classificazione delle caratteristiche prese in esame riguarda i seguenti parametri: le tecnologie di comunicazione, i requisiti, gli obiettivi e gli approcci prestazionali.

Dal loro esame emerge che, per un sistema sanitario efficiente, sono necessarie scelte adeguate in tema di banda larga, di velocità di trasmissione, di alta affidabilità e bassa latenza.

8. Tecnologie di comunicazione

L'assistenza sanitaria intelligente ha bisogno di tecnologie di comunicazione veloci ed efficienti, sia a corto che a lungo raggio.

8.1.Short range:

fra le tecnologie di comunicazione a corto raggio vanno inserite quelle Wi-Fi, Bluetooth e Wireless Metropolitan Area Network (WiMAX). In ambito sanitario intelligente la tecnologia più utilizzata è la “Wireless Body Area Network” (WBAN).

WBAN è un sistema di rete di sensori chiamati a monitorare, da postazione remota, i parametri fisiologici dei pazienti con l’obiettivo di ridurre il carico negli ospedali e fornire un’assistenza sanitaria a distanza efficiente, economica, semplice e rapida.

8.2.Long range:

Le tecnologie ad ampio raggio, invece, come LTE (Long Term Evolution), coprono un’area molto più ampia e forniscono alte velocità di dati e bassa latenza di accesso. Le LTE sono utilizzate per trasportare i dati da un client locale (quello del medico) al cloud.

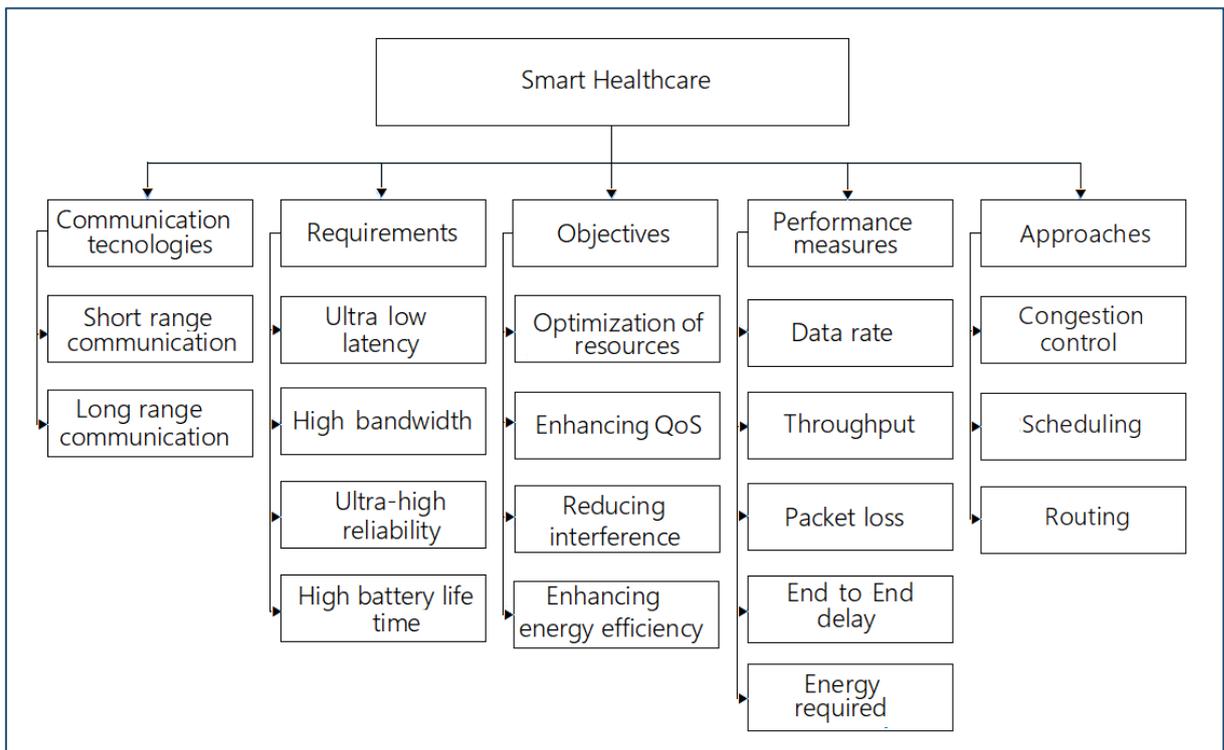


Fig. 1- La classificazione delle caratteristiche 5G in materia di assistenza sanitaria intelligente

9. Requisiti di rete

Con l’avvento dell’IoT e dei servizi ad esso connessi, diventa necessario che il sistema (cloud, rete e dispositivi biomedicali) possieda requisiti idonei a soddisfare richieste sempre più complesse, generate da una tipologia di dati che variano per dimensione e formato.

Tale obiettivo può essere raggiunto se si fanno scelte adeguate in tema di banda larga, velocità di trasmissione, alta affidabilità e bassa latenza.

9.1.Ultra low latency:

La comunicazione a bassa latenza, che è un aspetto importante del 5G, rappresenta un punto di svolta per le tecnologie delle comunicazioni.

Questo requisito è diventato uno standard globale per la rete cellulare. Con esso i servizi mobili sono diventati più veloci e affidabili e, in tema di sanità intelligente e di tecnologie Internet of Things (IoT), il lavoro del medico può diventare più fluido, contribuendo in tal modo a monitorare meglio le condizioni di salute dei cittadini.

9.2. High bandwidth:

La larghezza di banda in un collegamento di rete, wireless o cablata, dà la misura della capacità di inviare una quantità di dati in un periodo di tempo; essa tuttavia non misura la velocità con cui i pacchetti di dati si spostano da una posizione all'altra.

Giacché i sensori biomedici sviluppano e inviano una grande quantità di dati, che spesso fluiscono su più connessioni di rete (cloud, medico di fiducia ed altri) con differenti schemi di traffico, una connessione con banda piccola finisce con diventare un collo di bottiglia.

In tale scenario la rete deve potere disporre di banda molto larga e, in ogni caso, con caratteristiche di scalabilità e flessibilità tali da essere in grado di aumentare o diminuire i nodi senza influire sulle prestazioni di rete.

9.3. Ultra high reliability

L'affidabilità della rete è strettamente correlata alla sua capacità di eseguire operazioni con tassi di errore molto bassi.

La complessa e dinamica richiesta di servizi in tema di sanità comporta l'implementazione di numerosi sensori biomedici, con funzionalità *IoT*, spesso chiamati a generare più dati di quelli che la stessa rete potrebbe sopportare.

In questo caso, eventuali errori di trasmissione potrebbero comportare effetti devastanti. Si pensi agli interventi chirurgici da remoto o alle diagnosi complesse che comportano un enorme trasferimento di dati.

Una rete, quindi, in grado assicurare affidabilità altissima e di soddisfare requisiti di latenza ultra bassa, larghezza di banda elevata, alta densità ed efficienza energetica è garanzia di sicurezza per la salute del cittadino.

9.4. High battery life time

Per collegare un gran numero di sensori e di apparecchiature biomediche, è importante disporre di dispositivi con elevata durata delle batterie, diversamente una caduta di tensione potrebbe compromettere l'efficienza del monitoraggio da remoto dei pazienti.

E pur vero che la capacità delle batterie continua ad aumentare, ma questo non è sufficiente per particolari compiti che alcune tecnologie devono svolgere in campo medico.

Pertanto, occorrono schemi di efficienza energetica per aumentare la capacità di sistema (rete più dispositivi) ed ottenere buoni risultati utilizzando meno energia. Conforta, tuttavia, sapere che nel 5G, i sensori a bassa potenza sono progettati per funzionare sulla stessa batteria per 10 anni.

10. Obiettivi di efficienza

10.1. Optimization of resources:

Il problema che spesso si presenta è la mancanza di servizi ottimali da fornire ai pazienti a causa delle limitate risorse disponibili. Ottimizzare, quindi, le risorse per aumentare l'efficienza della

rete è uno degli obiettivi chiave per assicurare il buon funzionamento dell'assistenza sanitaria intelligente.

Vari ostacoli, come l'uso di molti dispositivi *IoT*, la produzione di una grande quantità di dati e il consumo di banda larga influiscono molto sull'efficienza della rete, da richiedere a volte software e hardware aggiuntivi.

Lo studio di ottimizzazione delle risorse, pertanto, dovrà essere deputato a modelli matematici adeguati, che assicurino piena garanzia di efficienza ed alte prestazioni sulla qualità dei servizi erogati.

10.2. Enhancing QoS:

Il cloud ha una serie di sfide da superare, come il buon funzionamento e la gestione delle risorse di cui si è scritto già, ma anche problemi di sicurezza, di autenticazione negli accessi e di privacy.

Quindi, la qualità del servizio (Quality of Service) di un sistema sanitario va riferito alla capacità della rete di ridurre la latenza e migliorarne la connettività e la tolleranza agli errori.

Inoltre, l'assistenza sanitaria a distanza coinvolge necessariamente lo streaming video in tempo reale, la realtà virtuale e il trasferimento di documenti anche di un certo peso (si pensi a immagini con grande risoluzione).

In tutti questi casi la modellizzazione e l'analisi del traffico di rete svolgono un ruolo molto importante nell'ottimizzazione delle prestazioni e aiutano a migliorare il QoS.

10.3 Reducing interference:

L'uso delle frequenze può essere utilizzato nel sistema sanitario intelligente per ottimizzare le risorse di rete.

I vantaggi, però, sono condizionati dalla densità di “*throughput*”, cioè dalla quantità di dati spostati in un periodo di tempo, dalla capacità effettiva che un canale di telecomunicazione può sostenere, a volte è inferiore a quella teorica, e da inevitabili interferenze co-channel che, in un sistema sanitario intelligente, può rappresentare una minaccia.

Pertanto, sono necessari schemi efficienti di interferenza per migliorare la condivisione del carico delle reti, locali e remote, specialmente quando i segnali interferenti minacciano di ridurre le prestazioni e l'affidabilità.

10.4 Enhancing energy efficiency:

La sostenibilità e l'efficienza energetica sono due obiettivi importanti nella progettazione di una rete sanitaria intelligente, non solo per motivi ambientali, ma anche per la natura dei dispositivi *IoT*, componenti importanti della rete.

Inoltre, le tecniche decisionali basate sui big data, sviluppate e applicate per la produzione intelligente, hanno un grande potenziale nel promuoverne la sostenibilità.

Pertanto, nella realizzazione di una rete *smart healthcare* vanno prese in considerazione tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica, con conseguenti riduzione dei costi operativi, e vanno analizzati anche gli impatti che queste tecnologie hanno sull'industria dell'energia sostenibile.

11. Le misure del rendimento

La sanità si trova ad affrontare sfide epocali: dall'invecchiamento della popolazione, all'impotenza dinanzi alle tragiche conseguenze del coronavirus; dall'aumento dei costi per infrastrutture obsolete, alle tecnologie e ai protocolli incompatibili con il diritto alla salute del cittadino.

Questo paragrafo fornisce una breve rassegna dei criteri di misurazione delle prestazioni sanitarie, a seguito dell'introduzione di *smart healthcare*, in termini di risultati dell'efficienza di rete e delle prestazioni sanitarie erogate.

11.1 Data rate

In ambito *smart healthcare*, la velocità di trasmissione indica la quantità di dati digitali che può essere trasferita dalla sorgente dei dati (sensori e paziente) al network di destinazione (cloud).

Ridurre i tempi di trasmissione e di risposta comporta una migliore qualità dell'assistenza sanitaria, con una minore esigenza di implementazioni dell'IoT e, conseguentemente, a costi più economici.

11.2. Throughput

Si riferisce al numero di pacchetti dati trasferiti per unità di tempo (vedi paragrafo 10.3)

11.3. Packet loss

La perdita di pacchetti si verifica quando uno o più pacchetti di dati non riescono a raggiungere la destinazione. La causa è da individuare negli errori di trasmissione dei dati, in genere attraverso reti wireless, o nella congestione di rete.

Il rapporto tra il numero di pacchetti persi e il numero totale di pacchetti inviati viene utilizzato per valutare le prestazioni dell'efficienza di rete.

11.4. End-to-End delay

In parole semplici, il ritardo end-to-end o unidirezionale si riferisce al tempo impiegato per la trasmissione di un pacchetto attraverso una rete dalla sorgente (sensori indossati dal paziente) alla destinazione (cloud).

È un termine comune nel monitoraggio della rete ed anche un parametro significativo che influenza la soddisfazione dell'utente con l'applicazione.

Con l'analisi delle code saranno studiate le prestazioni per il traffico aggregato e il controllo della velocità per mantenere determinate caratteristiche del traffico all'interno della rete.

11.5. Energy required

Stabilire percorsi corretti ed efficienti è un problema importante nelle reti mobili ed anche un obiettivo impegnativo per fornire percorsi efficienti dal punto di vista energetico.

Vanno pertanto cercate soluzioni ottimali con adeguati algoritmi per ridurre al minimo non solo l'energia necessaria per trasmettere o ricevere pacchetti, ma anche l'energia consumata quando un nodo mobile rimane inattivo e ascolta il supporto wireless per richieste di comunicazione da altri nodi.

In altre parole sono necessari protocolli di “*routing*”, ad alta efficienza energetica, che assicurino prestazioni garantite nei servizi integrati.

12. Approcci prestazionali

Le reti di computer, incluso Internet, sono inizialmente progettate su base euristica e complessa con molti meccanismi di controllo. A causa dell'adattabilità e della natura crescente delle reti, è difficile coprire ogni singolo approccio: tuttavia, in questo paragrafo viene fatto uno sforzo per coprire tutti gli approcci essenziali in tema di trasmissione dati.

12.1. Congestion control

La congestione dovuta alla grande quantità di dati da trasmettere, specie in reti di sensori multimediali wireless, comporta spreco di risorse e bassa qualità di servizi; conseguentemente va individuato uno schema di prevenzione che rilevi l'entità della coda e del suo tasso di variazione.

L'argomento merita molta attenzione perché, nelle applicazioni sanitarie, una elevata congestione può causare emergenze mediche per mancato monitoraggio dei segni vitali dei pazienti.

Gli inconvenienti possono essere mitigati con adeguati algoritmi di controllo della velocità di trasmissione e del suo tasso di congestione, il che aiuta a regolarne il flusso.

In primo luogo ad ogni pacchetto di dati si può assegnare un valore di priorità. Il pacchetto con priorità più alta ha la precedenza sui pacchetti con priorità media e bassa.

In secondo luogo, anche il tasso di variazione della coda può contribuire a regolare la velocità di trasmissione dei dati. Un livello positivo del tasso di congestione comporta una maggiore amplificazione della lunghezza della coda, di conseguenza, il nodo del ricevitore regola modalità e velocità del flusso dei dati.

Infine va sottolineato che la diminuzione della congestione di rete comporta non solo migliori servizi sanitari, ma anche una più elevata efficienza energetica e, conseguentemente, diminuisce il consumo di energia.

12.2. Scheduling

Il processo per la riduzione delle code, come illustrato nel paragrafo precedente, rientra nei compiti di un componente deputato all'attività di pianificazione e governo dei processi di sistema, la così detta attività di schedulazione (*scheduling*).

L'obiettivo dello schema è quello di ottimizzare le risorse e l'efficienza energetica, implementando e virtualizzando alcune funzioni, per fornire di conseguenza un controllo flessibile di tutto il flusso di rete.

L'attività di *scheduling* è, a sua volta, valorizzata attraverso lo "slicing", cioè, il processo di affettamento o suddivisione della rete in fette funzionali, al fine di soddisfare i requisiti per la creazione di una rete flessibile, efficiente ad alta capacità.

Il modo più efficiente per realizzare una rete suddivisa è quello di trasformarla in un insieme di reti logiche su un'infrastruttura condivisa.

In questo modo i dati sanitari vengono raccolti e gestiti all'interno di singole sezioni che concorrono alla generazione di una visione complessiva della salute dei pazienti.

12.3. Routing

Nei paragrafi precedenti, (*Congestion control* e *Scheduling*), è stato affrontato il problema della congestione e sono stati illustrati alcuni metodi di pianificazione e di controllo per ottimizzare la rete.

Nel campo delle reti il modello per il controllo della congestione include anche la pianificazione dei collegamenti ed il processo di instradamento (*routing*) dei dati che, assieme, costituiscono uno schema efficiente per il controllo congiunto della congestione.

L'algoritmo risultante si traduce direttamente in uno schema distribuito su più livelli e indica come viene controllata la risorsa fondamentale e come la risorsa allocata può efficacemente contribuire al controllo della congestione e alla qualità del servizio.

13. Conclusioni

In questo capitolo abbiamo passato in rassegna le capacità di rete dell'emergente 5G, concepita come soluzione per garantire connessioni a banda larga e con latenza molto bassa.

Gli utenti possono stabilire in modo efficiente connessioni e accedere ai servizi IoT, anche attraverso sezioni o fette di reti virtuali che condividono la tessa infrastruttura fisica.

Con il 5G si possono integrare soluzioni avanzate ed algoritmi intelligenti per fornire servizi rapidi, inclusi gli schemi di scheduling e di routing, che permettono di mitigare la congestione del traffico in rete e di garantire efficienza e risparmio energetico in piena sicurezza per l'integrità dei dati.

Inoltre è stata messa in risalto l'intelligenza cognitiva delle risorse sfruttando algoritmi che possono accedere ai dati sanitari e utilizzarli.

Il metodo illustrato ha dimostrato di potere raggiungere la qualità del servizio (QoS), riducendo il ritardo end-to-end nella rete e migliorando da remoto il monitoraggio in tempo reale dei pazienti.

Di contro va detto che i paradigmi di sicurezza che consentono l'autenticazione e la riservatezza delle comunicazioni 5G per i servizi IoT rimangono sfuggenti. Quindi, in fase di realizzazione del sistema vanno fatte scelte progettuali adeguate e vanno realizzati algoritmi idonei per assicurare la piena sicurezza dei dati e della *privacy*.

Sul piano dei costi, inoltre, è stato rilevato che le tecnologie con performance così elevate richiedono grandi quantità di finanziamenti per la realizzazione, la manutenzione e l'aggiornamento del sistema.

Su questo aspetto, però, non è detto che nella scelta delle tecnologie sia sempre necessario un profilo così alto. Un esempio chiarisce immediatamente il concetto: nell'assistenza sanitaria a distanza effettuata a casa del paziente non si presenterà mai il caso di "chirurgia a distanza".

Ci saranno casi in cui serviranno banda larga e latenza bassa ed altri, come l'assistenza sanitaria a casa del paziente, in cui la banda e la latenza non sono un problema, potendole risolvere con una programmazione intelligente del sistema ed utilizzando efficienti soluzioni software ed adeguati algoritmi.

PARTE IIIª – UN NUOVO MODELLO

14. Introduzione
15. Il diritto alla salute
16. I costi della sanità
17. La medicina di famiglia
18. Un nuovo modello di assistenza
 - 18.1. Cure a casa del paziente
 - 18.1. Rete e Promozione della salute
 - 18.3. Smart healthcare cloud
 - 18.4. Smart clinic collaboration
 - 18.5. Digital photography in skin screening
 - 18.6. Real-Time Communications
 - 18.7. Rete aggiornamento professionale e formazione
19. Coesione sociale e divari territoriali

14. Introduzione

Questo progetto ha come obiettivo la realizzazione di un nuovo modello di sanità in una società profondamente colpita da una pandemia che, di colpo, ha fatto riemergere problemi antichi e sempre presenti: dal lavoro alla scuola, dalla lotta alla povertà all'assistenza sanitaria, dai servizi all'ambiente.

Ogni sera, incollati al televisore, passiamo il tempo analizzando dati, guardando grafici, ascoltando opinioni, alla ricerca di segni illuminanti e sperando di sentire che l'epidemia si è finalmente ritirata.

Tutto è ridotto a numeri: quanti nuovi casi, quante persone in ospedale, quanti letti in terapia intensiva, quanti morti senza la pietà della famiglia.

Allora sarebbe lecito chiedersi: la sindrome respiratoria del coronavirus è la crisi di un sistema sanitario inadeguato o qualcosa di molto peggio?

Al di là delle risposte, questa pandemia sta rivelando come la crescita sconsiderata delle disuguaglianze e l'abbandono dei servizi pubblici abbiano indebolito nel mondo la capacità delle società di affrontare gli shock esterni ed abbiano creato nuove vulnerabilità.

In ogni caso, il COVID 19 sembra avere fatto capire che è necessario ribaltare le regole orientate al mercato che, da lungo tempo, sono al centro delle agende politiche.

La volontà con cui le nazioni hanno frenato le loro economie per proteggere la vita delle persone, unita a massicci aumenti della spesa pubblica e del debito pubblico, alcuni mesi fa sarebbe stato inconcepibile.

Nonostante tanta confusione e importanti carenze in alcune risposte, il mondo sta assistendo alla messa da parte di certe ideologie per affrontare il bisogno che accomuna tutti i popoli: la protezione della salute.

Che ci sia voluta una crisi di queste dimensioni per riconoscere che il ruolo fondamentale di uno Stato è quello di proteggere i suoi cittadini - che la vita degli uomini ha un valore superiore al prodotto interno lordo - è una dimostrazione scioccante di come i diritti e le responsabilità reciproche che formano la base di tanti sistemi democratici, siano stati svuotati.

Questo progetto intende dare una risposta concreta ed efficiente per garantire il diritto alla salute a tutti i cittadini, sia in tempi di emergenza che in tempi di serena normalità.

È un progetto che aiuta a sviluppare collaborazioni sinergiche tra la medicina generale e le soluzioni digitali intelligenti, per contribuire a creare un ecosistema sanitario vantaggioso per l'intera comunità.

Se realizzato, questo nuovo sistema sarà in grado di monitorare, anche giornalmente, tutti i cittadini (nessuno escluso!) e consentirà di cogliere per tempo i sintomi del contagio.

In questo progetto (PARTE VI^a - CASI DI STUDIO) presenteremo due casi di studio attinenti al COVID19, che saranno corredati di diagrammi ed algoritmi che ne dimostrano la fattibilità.

15. Il diritto alla salute

“La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività ...” [Art. 32 Costituzione]

La tutela di tale diritto va comunque garantita, sia in caso di cure necessarie per fare stare bene il cittadino, sia in caso di salvaguardia da rischi e da pericoli o da situazioni igienico-sanitari ed ambientali che potrebbero comprometterne lo stato di benessere.

La portata garantista di questo principio di civiltà, che distingue l'Italia anche fra i Paesi più progrediti, deve essere ricondotta fra i compiti primari dello Stato per realizzarne la piena effettività.

Le iniziative da mettere in campo sono tante e, in ogni caso, debbono essere finalizzate a:

- garantire, nelle scelte legislative, sempre e comunque il diritto alla salute;
- tutelare le fasce più deboli e meno abbienti nelle prestazioni sanitarie da erogare;
- rimuovere i rischi e i pericoli nocivi alla salute dei cittadini e promuovere la prevenzione;
- promuovere lo sviluppo sostenibile a garanzia di benessere e salute;

La qualità della vita e il benessere della collettività intera dipendono direttamente dalla buona salute di ogni cittadino che sta alla base della società ed è elemento protagonista nello sviluppo dell'uomo in tutte le sue fasi: dal benessere psico-fisico ai percorsi di istruzioni e a quelli lavorativi.

Molte imprese, in tempo di coronavirus, stanno navigando nell'incertezza e tentano di affrontare la crisi nel miglior modo possibile. Speriamo che possano trarre anche l'insegnamento che alla base della produzione e del relativo successo economico c'è sempre il benessere e la buona salute dei cittadini che lavorano.

È necessario, pertanto, attuare appieno il diritto costituzionale, eliminando disuguaglianze di fronte all'offerta sanitaria, in termini di accesso e di qualità, senza distinzione di territorio o di colore.

Con l'Europa, gli Stati Uniti, l'Asia e gli altri Paesi del Mondo ancora nel panico per la pandemia da coronavirus, sta maturando la convinzione che occorre spostare l'attenzione e l'impegno dagli obiettivi del passato a quelli compatibili con il nuovo contesto epidemiologico ed ambientale.

Quindi, pur non distogliendo l'impegno dalla lotta alle patologie acute e dalle cure ospedaliere, si guarda con maggiore interesse verso la prevenzione, la qualità della vita delle persone affette da malattie croniche, l'assistenza domiciliare, la sostenibilità di lungo termine, l'uguaglianza di tutti i cittadini di fronte all'offerta sanitaria e la lotta agli sprechi.

Questo è anche l'obiettivo di questo progetto.

16. I costi della sanità

Prima della pandemia da coronavirus la situazione della sanità in Italia era a dir poco drammatica: costi insostenibili della spesa sanitaria e 6 milioni, circa, di cittadini costretti a rinunciare alle cure.

Oggi, ad essere nel panico è il mondo intero.

In ogni caso analisti e studiosi hanno parlato chiaro: la sanità pubblica arranca e i dati sono stati e continuano ad essere scoraggianti. Le liste d'attesa si allungano e i cittadini, quelli che potevano disporre di qualche risparmio, in passato sono stati costretti a rivolgersi alla sanità privata, indebitandosi sino a entrare nella fascia di povertà.

Inoltre, pazienti insoddisfatti del servizio sanitario della propria Regione hanno preferito spostarsi – soprattutto dal sud – per una prestazione sanitaria auspicabile nel tempo di un anno, con gravi costi sul bilancio delle famiglie.

Disuguaglianze da una parte e dinamiche demografiche dall'altra – tra le prime l'invecchiamento della popolazione – e soprattutto un progressivo disinvestimento dalla sanità pubblica hanno prefigurato scenari scoraggianti e le conseguenze drammatiche sono sotto gli occhi di tutti.

Nel recente passato, la sofferta situazione economica del Paese ha indotto i governi ad adottare tentativi di contenimento che i giornali hanno ben illustrato con titoli del tipo “Tagliare i costi in sanità”.

E, come in tutte le decisioni portate avanti per tentativi, è stata individuata la scorciatoia che ha portato al contenimento del costo del personale e alla riduzione degli spazi operativi e dei beni e servizi.

Tale strategia ha prodotto effetti opposti, da una parte facendo lievitare i costi e dall'altra, ancora peggio, puntato ad un servizio sanitario non adeguato alle aspettative, a scapito cioè della qualità delle prestazioni erogate e delle cure somministrate. Con il risultato che non sempre i servizi sono stati in linea con i protocolli di cura condivisi dalla comunità medica nazionale o internazionale.

Non vi è dubbio che il contenimento dei costi vada effettuato, anche perché per taluni la sanità è diventata l'industria della salute con un business ad alta intensità, ma in ogni caso deve essere strettamente correlato a:

- sapere scegliere tra l'assistenza in ospedale, in day hospital, in ambulatorio o a domicilio;
- effettuare scelta di buoni manager;
- puntare ad una più efficiente gestione dei servizi (eliminando ogni disfunzione e spreco);
- garantire la qualità delle prestazioni (valorizzando le risorse umane necessarie).

17. La medicina di famiglia

Il medico di famiglia rappresenta il punto di riferimento per la salute dei cittadini, fondato sulla fiducia.

Egli conosce bene lo stato di salute dei suoi assistiti e, quando necessario, ne segue il percorso terapeutico anche all'interno delle strutture del servizio sanitario.

Esercita un ruolo professionale importante nell'assistenza dei propri pazienti, nel contesto della famiglia, ne promuove la salute e svolge un'azione educativa rivolta alla prevenzione dei fattori di rischio e delle malattie.

Partecipa a campagne programmate di educazione sanitaria (ad es. educazione alimentare), di prevenzione primaria (ad es. vaccinazioni e screening oncologici) e di prevenzione secondaria (ad es. diagnosi precoce di alcuni tumori).

In altri termini, il ruolo e l'attività professionale che svolge nella società fanno del medico di famiglia un punto di riferimento imprescindibile per le scelte dei servizi sanitari, per l'educazione a stili di vita salutari e per l'adozione di comportamenti appropriati in situazioni di malattia e riabilitazione.

Accanto al medico di famiglia un'altra figura sanitaria importante, chiamata ad assolvere ad una funzione importante nel promuovere la salute del cittadino, è il pediatra di famiglia.

Entrambi le figure, medico di famiglia e dell'infanzia, rappresentano un valore condiviso per le attività di servizio sanitario e si pongono come elemento determinante tra l'assistenza ospedaliera e quella territoriale.

Oggi, però, nonostante l'importanza ed il valore dell'attività svolta dalla medicina, è necessario andare oltre e ridefinire il contesto entro il quale la medicina di famiglia può espletare al meglio l'attività di assistenza, anche con il contributo di altre professioni specialistiche al fine di assicurare competenze di alto livello.

18. Un nuovo modello di assistenza

Quanto sino a qui illustrato mostra con chiarezza che è necessario puntare ad un diverso modello di assistenza, passando da quella espletata in ambulatorio o in ospedale a quella effettuata nel domicilio del paziente, con l'aiuto di tecnologie intelligenti capaci di fornire dati utili per una efficace diagnosi a distanza.

Per concretizzare questo passaggio servono però scelte politiche che guardano al futuro e tecnologie adeguate che il progresso della scienza ogni giorno propone.

18.1. Cure a casa del paziente:

In altre parole, bisogna mirare ad un'assistenza che consente al medico e al paziente di comunicare grazie ad internet senza muoversi, il paziente da casa e il medico dall'ambulatorio.

Tanto per fare un esempio, si possono rilevare il battito cardiaco, la pressione, la temperatura corporea ed altri parametri, anche più volte al giorno, o anche in continuo per 24 ore con dispositivi indossabili sul corpo umano (*wearables devices*).

Inoltre, per questo tipo di servizio la scienza informatica ha messo a disposizione la figura degli assistenti virtuali che, in caso di scostamenti significativi, invierà un allarme al medico di fiducia.

L'assistente virtuale non è una persona, è un algoritmo. Però è un'invenzione formidabile; agevola il medico a gestire con efficacia i pazienti e a coordinare procedure e metodi di somministrazione della terapia. Ed anche, di assistenti virtuali se ne possono creare tanti: uno per ogni servizio.

Infine, sul fronte del paziente, le cure a casa aiutano chi soffre a ridurre la tensione emotiva che a volte può causare stress o sfociare in malattie di altro tipo.

18.2. Rete e Promozione della salute

La promozione della salute, pur essendo un concetto teorizzato in varie epoche storiche (1960 e 1970), trova la sua organica formulazione con la Carta di Ottawa (1986).

A distanza di circa trentacinque anni, essa costituisce ancora un documento di riferimento importante, quanto attuale, per lo sviluppo di un processo che consente all'individuo di esercitare un maggiore controllo sulla propria salute e di migliorarla in un contesto di azioni sinergiche e intersettoriali con altri ambiti sociali.

Già nel 1990 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha promosso il network, “*Health Promoting Hospitals*” (HPH), come approccio sistematico capace di collegare ospedali e servizi sanitari, comunità ed ambiente e di migliorare la qualità dell'assistenza.

Seguendo l'indirizzo dell'OMS, è necessario definire un percorso concreto per promuovere una rete che coinvolga ospedali, scuola, cittadini e medici di medicina generale.

La rete deve rappresentare “il luogo” o “il contesto” per attività finalizzate a risolvere problemi strettamente connessi con la salute dei cittadini, ad effettuare collegamenti e prenotazioni per interventi ospedalieri e a facilitare l'invio di documenti. In più, la rete, deve servire per iniziative di sensibilizzazione e di prevenzione delle malattie.

18.3. *Smart healthcare cloud:*

In tale contesto un ruolo importante è svolto dal “*Smart healthcare cloud*”, una soluzione di computing necessaria per fornire servizi sanitari adeguati al monitoraggio dei pazienti, eliminando perdite di tempo, riducendo i costi sanitari, migliorando la qualità del servizio e la soddisfazione dei pazienti.

Questo tipo di servizi consente ai medici di assistere i pazienti da remoto, consentendo loro di svolgere le attività quotidiane mentre ricevono servizi sanitari adeguati, tempestivi e di alta qualità.

Naturalmente il tutto garantendo il necessario controllo sulla privacy.

18.4. *Smart clinic collaboration*

Questo è un metodo di collaborazione interattiva tra medicina generale e quella specialistica.

In caso di malattie complesse, il medico di fiducia può richiedere consulenze ad altri medici specialisti, a università o altri ospedali per una diagnosi più accurata in presenza di un paziente gravemente ammalato.

In tale contesto si viene a creare un ecosistema digitale che oltre ad essere vantaggioso per la salute del paziente, fornisce in tempo reale una occasione di arricchimento culturale e di aggiornamento professionale per tutti i medici coinvolti.

Tutti questi servizi di rete contribuiranno anche a promuovere l'attività di ricerca, arricchendo lo sviluppo delle competenze attraverso collaborazioni sinergiche tra strutture sanitarie remote e locali.

In caso di ricovero ospedaliero sarà il medico di fiducia ad effettuare la prenotazione, avendo cura di inviare in anteprima la documentazione clinica digitale del paziente, al fine di formulare tempestivamente la diagnosi e di ridurre i tempi della degenza.

Tutto con notevoli vantaggi sia in termini di minori disagi per il paziente, sia in termini economici per la riduzione della durata della degenza e dei relativi costi.

18.5. *Digital photography in skin screening*

è lo screen attraverso una immagine digitale acquisita da videocamere mobili per monitorare la pelle, quell'organo umano che vanta un record poco invidiabile, quello della più alta quantità di malattie.

La maggior parte riguardano infezioni, dovuti a virus, a batteri o a infezioni micotiche, non particolarmente pericolose ma in genere molto contagiose, altre invece riguardano alcuni tumori della pelle, per i quali è consigliabile allertare nel più breve tempo possibile il medico specialista per un esame approfondito della neoformazione cutanea.

Va sottolineato che il carcinoma cutaneo, purtroppo, è una delle neoplasie più comuni al mondo e, nonostante i bassi tassi di mortalità, può causare gravi conseguenze quando viene diagnosticato in fase avanzata.

La tele dermatologia effettuata dal medico di medicina generale con strumenti semplici ma di elevata sensibilità come i dispositivi mobili (*mHealth*), può diventare uno strumento adatto per lo screening del cancro della pelle da remoto.

Anche in questo tipo di patologie e di imaging, l'uso di sistemi di apprendimento automatico basati su strumenti di intelligenza artificiale, si sono dimostrati molto accurati e con un tasso di concordanza assoluta con le diagnosi fatte dagli specialisti e dagli esperti.

18.6. *Real-Time Communications:*

è una piattaforma innovativa che permette di effettuare visite a distanza con la presenza in video di medico e paziente. Molto utile e di grande conforto in caso di collaborazione interattiva tra medicina generale e quella specialistica (*Smart clinic collaboration*). La presenza in videoconferenza dei medici specialisti attenua la tensione del paziente e incide sulla qualità della vita del malato.

Ma è anche lo strumento per pianificare meeting e riunioni formative a distanza e approfondire temi di stretta la cultura sanitaria.

Per tutte queste attività saranno disponibili strumenti di condivisione dei contenuti (presentazioni, documenti) che permettono di espletare a distanza servizi sanitari eccellenti come se fossero tutti riuniti attorno allo stesso tavolo in un ambulatorio medico o in ospedale, ma garantendo alla persona bisognosa di cure la serenità di stare a casa propria.

18.7. *Health Knowledge Network*

Gli strumenti di comunicazione tra medici di medicina generale e pediatri, scuole, ospedali e centri di ricerca medica saranno espletate da un apposito network di aggiornamento professionale e formazione (*Health Knowledge Network*). Si tratta di una rete di scambio, aggiornamento e conoscenza in tema di salute tra medici di medicina generale, scuole, ospedali e centri di ricerca medica. La trasmissione digitale dei documenti costituirà un efficiente strumento di dialogo che può condurre ad una informazione di qualità.

Ecco i suoi strumenti:

- **HEALTH & LIFE:** giornale on line con ampio spazio riservato alla rassegna dei risultati conseguiti dalle ricerche italiane ed estere e degli articoli e notizie riportati sulle riviste mediche. Si tratta di una iniziativa interessante perché le informazioni sui progressi scientifici in materia saranno raggruppate per argomenti omogenei ed illustrate da medici e studiosi del settore.
- **Case study:** Casi di studio sono schede di approfondimento di casi clinici proposti dai medici di base. Rappresentano una innovativa strategia di comunicazione tra la cultura

universitaria-ospedaliera e la medicina generale ed anche un efficace strumento di conoscenza per la promozione della salute.

- **Approfondimenti:** supplementi specialistici di particolare interesse, legati all'attività di studi e di ricerca sperimentale sul campo. Questa attività può essere svolta da giovani ricercatori o nel corso degli studi delle scuole di specializzazione.

19. Coesione sociale e divari territoriali

L'obiettivo di questo progetto è sviluppare un sistema di monitoraggio ed un servizio di assistenza sanitaria a tutti i cittadini, compresi quelli che abitano nelle isole o nei piccoli centri lontano dai grandi agglomerati urbani dove sono allocati ospedali, centri di cura e studi diagnostici.

Il territorio italiano è caratterizzato dalla presenza di 7.903 comuni, la maggior parte dei quali (il 69,6 per cento del totale) avente piccole o piccolissime dimensioni, anche se la maggior parte della popolazione vive nelle città di media dimensione (68,5 per cento).

Un altro dato da tenere in considerazione riguarda quei centri abitati ubicati in zone comunemente definite "*aree interne*", dove risiedono oltre 13 milioni degli italiani quasi sempre in condizioni svantaggiate in termini di accesso a servizi quali sanità, istruzione e mobilità.

In tali aree il processo di marginalizzazione, iniziato fin dagli anni '50, ha fortemente contribuito a ridurre l'offerta dei servizi fondamentali in una spirale negativa che ha interessato fenomeni economici e demografici ai quali, in molti casi, si sono aggiunti eventi di natura sismica e di dissesti idrogeologici.

Il PNRR prevede interventi di rilancio di queste aree che, però, dovranno necessariamente passare attraverso la creazione di nuove opportunità di lavoro per i giovani, altrimenti costretti a lasciare il proprio luogo d'origine. Tuttavia affinché la politica di rilancio sia duratura nella sua efficacia è necessario far uscire queste zone dalla "*trappola*" della marginalizzazione.

Il Piano nazionale di ripresa per queste aree contempla anche una connettività ultraveloce con l'obiettivo di ridurre i divari territoriali e migliorare la coesione sociale.

Se il livello di digitalizzazione sarà adeguato, il Piano, che ha l'ambizione di promuovere uno sviluppo omogeneo, equilibrato e sostenibile in tutto il Paese, potrà anche garantire maggiori servizi ai residenti, necessari per rilanciare un territorio ricco di peculiarità artistiche e ambientali.

In tale contesto, il modello di sanità assistita da tecnologie intelligenti (IA) presentato in questo documento contribuirà a raggiungere obiettivi ambiziosi in grado di promuovere un ecosistema sanitario efficace presso il domicilio del paziente, in termini di accesso e di qualità, senza distinzione di territorio e di colore.

Ciò significa che le persone non dovranno trovarsi più in una situazione di svantaggio ascrivibile al luogo in cui vivono.

PARTE IV^a – LE EPIDEMIE

20. Introduzione
21. Le malattie infettive
22. Il forward triage e il ruolo del medico di fiducia
23. Modello matematico per lo studio del coronavirus
24. Diffusione spazio-temporale del COVID-19

20. Introduzione

Da più di un secolo i modelli matematici applicati allo studio delle epidemie si sono dimostrati utili nella pianificazione delle misure di controllo e di mitigazione delle malattie infettive.

Consentono di estrapolare informazioni sulla diffusione di un focolaio, di prevederne l'andamento e, se ben parametrizzati, danno la possibilità di testare una varietà di strategie di controllo nelle simulazioni al computer prima di applicarle nella realtà.

Naturalmente il modo di diffondersi di una epidemia dipende da tanti fattori: dalla tipologia del virus, dalle condizioni funzionali del mezzo di trasmissione, dalle sue capacità di ospitare e trasmettere un agente patogeno e da molti altri elementi fisici e ambientali che per varie ragioni possono favorirne lo sviluppo.

Pertanto, il modello matematico va studiato tenendo conto dei fattori richiamati e da altre regole, proprie di ogni tipo di virus, che vanno preventivamente individuate.

In questo documento, prenderemo in esame un modello matematico che ben si adatta allo sviluppo e diffusione del “COVID-19”. Questo modello tiene conto di due fattori importanti: il “*fattore soglia*”, “*l'immunità temporanea*”.

Il primo fattore riguarda la classe di individui che, avendo contratto una certa quantità di infezione (“*soglia*”), diventano infetti e, anche se privi di sintomi clinici, possono trasmettere l'infezione ad altri; il secondo, invece, attiene allo status di quegli individui infettati che, una volta guariti, possono divenire ancora contagiosi.

Su questi fattori, assieme ad alcune condizioni di ordine matematico che saranno prese in esame e ad altre considerazioni, si tornerà nell'illustrazione del modello.

Il modello è una rivisitazione di due modelli, il modello soglia e il modello con immunità temporanea, inseriti nella raccolta di seminari svolti nella metà degli anni '70 in seno al gruppo di BIOMATEMATICA della Facoltà di Scienze e di Medicina dell'Università di Palermo, pubblicati nel 1977^[1].

[1] *Per approfondimenti: « Mannino, Papuzza, Reas, modelli matematici nella teoria delle epidemie – Quaderni di BIOMATEMATICA – 1977 – Edigrafica Sud Europa ».*

21. Le malattie infettive

Le malattie infettive sono patologie causate da una complessa interazione del sistema immunitario di un individuo che, entrando in contatto con un agente patogeno, può subire alterazioni funzionali.

I microrganismi (virus, batteri, funghi, muffe e protozoi) che causano tali malattie, per sopravvivere e moltiplicarsi, hanno bisogno di sfruttare alcune funzioni vitali dell'individuo che li ospita il quale, a sua volta, per inibirne la crescita reagisce adottando sistemi di difesa con un'azione antimicrobica.

Il modo di diffondersi di una patologia da agenti microbici in una collettività può risultare di vario tipo, di cui il modello matematico che ne descrive l'andamento, per essere efficace, dovrà tenere conto.

Di seguito una breve rassegna:

Sporadicità: Si dice che una malattia infettiva è sporadica quando si palesa in maniera episodica e con casi piuttosto rari interessando una parte trascurabile della popolazione in esame.

Si tratta di eventualità che si verificano di rado, ad esempio, per malattie normalmente non esistenti nella nazione di residenza dell'individuo contagiato e che, una volta importate, si manifestano in pochi casi isolati e scompaiono con rapidità.

Endemia: sono endemie, invece, le malattie infettive con presenza costante in una data zona (in Italia, per esempio, sono endemiche: la difterite, la scarlattina, il morbillo, il tifo addominale, l'epatite virale infettiva, ed altre).

Nel caso in cui una determinata malattia endemica accentua la propria diffusione con regolarità nel corso di determinate stagioni, allora si parla di esacerbazione dell'endemia e la malattia viene definita "endemo-epidemica".

Un esempio classico di forma endemo-epidemica, in Italia prima dell'introduzione del vaccino Sabin, è stata la poliomielite.

Epidemia: Il termine epidemia si riferisce al caso di una malattia che colpisce gruppi rilevanti di popolazione per poi attenuarsi più o meno rapidamente dopo avere compiuto il suo corso, il quale spesso presenta speciali e complesse caratteristiche.

Quando una epidemia prende una fortissima diffusione, in modo da svilupparsi in varie nazioni, si parla di "pandemia".

È il caso del coronavirus. Riteniamo, pertanto, importante prendere in esame alcuni punti che in genere attengono ad ogni tipo di epidemie, ma nel caso del coronavirus consentono di capire meglio l'andamento e la sua diffusione. I punti da prendere in esame riguardano: l'origine, l'andamento e la loro distribuzione nel tempo.

Origine delle epidemie: Una infezione già esistente allo stato endemico, oppure importata ex novo, provocherà epidemie solamente se si verificano le condizioni necessarie al suo diffondersi, con una certa rapidità e in un numero notevolmente grande di soggetti.

Sotto questo aspetto un primo punto da prendere in considerazione riguarda l'affollamento degli individui. Infatti, una malattia sostenuta da un germe labile che, appena eliminato dal malato o dal portatore, non trovi più la possibilità di penetrare in uno sano è destinata a provocare solamente casi sporadici o, al massimo, singoli focolai.

Se invece i contatti sono numerosi e frequenti, chiaramente il germe si troverà nelle migliori condizioni per diffondersi rapidamente e ingenerare una epidemia. Questa ultima eventualità dipenderà però anche dalla resistenza che il parassita trova negli organismi invasi.

Segue che la presenza, in una popolazione, di numerosi individui immuni rappresenterà un fattore sfavorevole all'istaurarsi dell'epidemia. In maniera opposta agirà la presenza di numerosi soggetti recettivi.

Nel primo caso sarà però sufficiente la comparsa nella popolazione di un opportuno numero di nuovi nati (recettivi) oppure un abbassamento della resistenza nei soggetti immunizzati, perché il germe sia in grado di determinare un'ondata epidemica.

Una tale diminuzione di resistenza può dipendere sia dall'affievolimento della immunità acquisita, sia dall'intervento di svariati fattori (carestie, guerre, ed altri) che, indebolendo le attività funzionali organiche, compromettono più o meno gravemente anche i poteri di difesa.

Infine vano ricordate le epidemie di tipo alimentare. In questo caso una epidemia si può originare solamente se l'alimento inquinato risulta di largo consumo, altrimenti si assisterà all'insorgenza di casi sporadici o di piccoli episodi endemici. Sotto questo aspetto sono da considerare l'acqua, il latte e i molluschi come cause o veicoli di malattie di epidemie intestinali.

Andamento delle epidemie. L'andamento delle malattie epidemiche va studiato applicando metodi statistico-matematici e ottenendo curve su diagrammi cartesiani, nei quali le ordinate rappresentano il numero dei contagiati e le ascisse il tempo in cui si verifica l'epidemia.

Per un tale studio particolareggiato rimandiamo al prossimo paragrafo.

Distribuzione delle epidemie nel tempo. Esistono malattie epidemiche che si manifestano nel tempo senza nessuna regola, potendo comparire a seconda dei casi assai frequentemente o a lunghi intervalli. È questo il caso delle così dette malattie esotiche le quali, pur essendo allo stato endemico in un determinato paese, possono essere importate e originare epidemie.

Vi sono ancora delle epidemie che presentano dei ritorni periodici o ciclici variamente distribuiti nel tempo.

Sotto questo aspetto, tra le varie epidemie, si possono prendere in esame tre cicli: ciclo stagionale, ciclo poliennale e ciclo secolare.

Cicli stagionali. Molte malattie infettive presentano delle recrudescenze in determinate stagioni dell'anno: per esempio, le malattie intestinali sono più diffuse nei mesi caldi, mentre le affezioni di tipo broncopolmonari sono più frequenti nei mesi invernali.

A volte poi il ciclo stagionale dipende dalle condizioni di sviluppo di eventuali parassiti, Ne sono esempi tipici la malaria e il tifo esantematico.

Cicli poliennali. Alcune malattie si manifestano sotto forma di endemia ogni 2-10 anni, o entro periodi di tempo non superiori ad una generazione. Un esempio tipico, sotto questo aspetto, è offerto dal morbillo, il quale insorge con notevole regolarità ogni 2-4 anni.

Cicli secolari. Infine vi sono malattie epidemiche con ciclo superiore ad una generazione. Tra queste vanno ricordate la differite e l'influenza pandemica.

Alcune considerazioni. Le considerazioni fin qui esposte ci sono sembrate opportune e, pur nella loro brevità, necessarie per potere affrontare uno studio più puntuale con metodi matematici [vedi paragrafo 23].

22. Il forward triage e il ruolo del Medico di fiducia

La strategia più idonea al controllo delle sovrattensioni causate dal coronavirus è il così detto “*forward triage*”, che consente alle persone di essere sottoposti a screening a distanza, demandando al medico di fiducia il compito di valutare le condizioni cliniche dei cittadini che avvertono sintomi del contagio, di approntare idonei sistemi di monitoraggio e, in caso di eventuali rischi evolutivi e complicanze, di segnalare le priorità assistenziali.

Questo approccio possiede requisiti funzionali efficaci che, se assistiti da tecnologie intelligenti ed algoritmi adeguati, consentirà ai cittadini di essere sottoposti a screening in casa propria e, se è il caso, anche a prelievo di tamponi.

In caso di positività il cittadino potrà gestire l’auto-quarantena, con le cautele raccomandate dal medico, ed essere monitorato in continuo senza tema di essere abbandonato in una corsia di ospedale.

Nei casi più gravi, ricorrerà alle cure dell’ospedale bypassando il pronto soccorso e riducendo l’esposizione a rischi per gli operatori sanitari e per gli altri pazienti.

In questo modo, i medici di fiducia assolvono al compito di primo soccorso e possono facilmente ottenere storie dettagliate sullo stato di salute del paziente e sull’andamento delle infezioni.

Le informazioni raccolte è doveroso inviarle, senza le generalità del cittadino, al centro di epidemiologia dove possono essere utilizzate per ricerche sia nel processo di standardizzazione dei modelli di screening, sia per tracciare la corretta evoluzione dell’infezione e dei suoi effetti.

Nella esperienza di questi mesi, invece, i principali ostacoli allo screening su larga scala sono stati il mancato coordinamento dei test, la carenza di dialogo tra i vari operatori ed un accentuato disordine nell’attività di presa in carico delle persone infette.

In altre parole, il medico di famiglia, con l’assistenza sanitaria da remoto, può dare un grande contributo a contenere la diffusione del virus e a ridurre il sovraccarico del sistema ospedaliero.

Ma può, anche, aiutare a capire l’andamento dell’epidemia, a ridurre disfunzioni e costi della sanità, e soprattutto può contribuire ad eliminare crudeli decessi e ad alleviare disumane sofferenze.

23. Modello matematico per lo studio del coronavirus

Inizieremo con il prendere in considerazione una popolazione composta da un numero totale N di individui, suddivisa in quattro classi disgiunte:

- (S) Classe suscettibile composta da quegli individui che non sono infetti e non sono esposti al contagio;
- (E) Classe di individui esposti al contagio ma non ancora infetti;
- (I) Classe composta da individui infetti e capaci di trasmettere l'infezione ad altri;
- (R) Classe "rimossa" composta da quegli individui già contagiati e, comunque, guariti che possono divenire nuovamente suscettibili di infezione.

Nell'introduzione a questo capitolo si è fatto cenno al "fattore soglia" che tiene conto della quantità di infezione necessaria perché un individuo, prima esposto, possa divenire contagioso e capace di trasmettere l'infezione ad altri, anche in assenza di sintomi clinici. La relazione matematica è riportata nell'ipotesi (II).

Per spiegare il concetto possiamo dire che il corpo umano può spesso controllare una piccola esposizione ad un'infezione, può esistere cioè un livello di tolleranza al di sotto del quale le difese del sistema immunitario possono combattere gli effetti di una esposizione.

Però, quando l'esposizione risulta troppo prolungata ("durata all'esposizione"), e/o la «quantità di infezione» supera una certa entità, l'individuo si sposta dalla classe degli individui esposti al contagio, ma non ancora infetti, alla classe degli individui infetti e capaci di trasmettere l'infezione ad altri, anche in mancanza di sintomi clinici.

Indichiamo, ora, con r il tasso di infezione, con ω la costante non negativa di tempo del periodo di immunità e con ρ una funzione di proporzionalità che dà la misura della quantità di infezione comunicata dal contagio. Inoltre, allo scopo di tenere conto delle variazioni del tasso di infezione consideriamo r funzione del tempo e scriviamo quindi $r(t)$ in luogo di r .

Le ipotesi necessarie per la descrizione del modello sono le seguenti:

- (I) Il tasso di esposizione dei soggetti all'infezione al tempo t è dato da:

$$-r(t)S(t)I(t)$$

- (II) Un individuo che è prima esposto al tempo τ , diviene contagioso al tempo t se

$$\int_{\tau}^t [\rho_1(x) + \rho_2(x) I(x)] dx = m$$

dove $\rho_1(x)$ e $\rho_2(x)$ sono funzioni non negative date e m è una costante non negativa.

Quando, cioè, l'esposizione totale raggiunge la soglia m l'individuo si sposta dalla classe (E) alla classe (I).

- (III) Un individuo che diviene contagioso al tempo t , guarisce dalla infezione al tempo $t + \sigma$, dove σ è una costante positiva data.
- (IV) Un individuo che è guarito al tempo t è immune sino al tempo $t + \omega$, dopo di che diviene nuovamente suscettibile, dove ω è la costante di tempo non negativa del periodo di immunità temporanea.
- (V) Il volume della popolazione è costante.

Rileviamo che le condizioni $\rho_1(t) = \text{costante}$, $\rho_2(t) = 0$ conducono a $t - \tau(t) = \text{costante}$.

L'ipotesi (IV) stabilisce che la durata di tempo impiegato nella classe (R) è esattamente ω . Evidentemente ponendo $\omega = +\infty$ si ottiene il modello senza la ricaduta delle persone guarite dall'infezione.

Assumiamo ancora come condizioni iniziali che I_0 individui contagiosi siano inseriti nella popolazione al tempo $t = 0$.

Nell'ipotesi che la funzione $I_0(t)$ soddisfi alla condizione (III), con $-\sigma \leq t \leq \sigma$, l'evoluzione di tale gruppo $I_0(t)$ risulta ancora nota e precisamente:

$$I_0(t) = \begin{cases} 0 & |t| \geq \sigma \\ I_0(t) & -\sigma \leq t \leq 0 \\ I_0(0) - I_0(t - \sigma) & 0 \leq t \leq \sigma \end{cases}$$

Assumiamo anche l'esistenza di un istante $t < \sigma$ tale che

$$\int_0^{t_0} [\rho_1(x) + \rho_2(x) I_0(x)] dx = m$$

Una qualunque funzione monotona, $I_0(t)$, $-\sigma \leq t \leq 0$, $I_0(-\sigma) = 0$, la cui estensione soddisfi alle condizioni iniziali precedenti sarà considerata valida alla descrizione del modello.

Le equazioni che descrivono il modello si otterranno dalla variazione nel tempo del tasso con il quale gli individui lasciano la classe suscettibile.

È necessario prima di tutto tenere conto di quegli individui inizialmente contagiosi che sono dall'inizio nelle classi (S) ed (R) e che denoteremo rispettivamente con $I_1(t)$ e con $I_2(t)$.

Il primo istante in cui si può verificare il passaggio di un contagioso iniziale nella classe (S) è ω ; per $t > \omega$, il numero di individui inizialmente contagiosi che sono in (S) coincide con il numero di coloro che guariscono prima di $t - \omega$.

Così risulta:

$$I_1(t) = \begin{cases} 0 & t \leq \omega \\ I_0(0) - I_0(t - \omega) & t \geq \omega \end{cases}$$

e

$$I_2(t) = \begin{cases} I_0(0) - I_0(t) & t \leq \omega \\ I_0(t - \omega) - I_0(t) & t \geq \omega \end{cases}$$

La funzione $\tau(t)$ deve invece soddisfare le:

$$(1) \quad \int_{\tau(t)}^t [\rho_1(x) + \rho_2(x) I(x)] dx = m$$

$$\tau(t) = 0 \quad t \leq t_0$$

Quest'ultima condizione permette di semplificare l'espressione di $I(t)$.

La popolazione suscettibile al tempo t è formata da tutti coloro che non sono esposti nell'intervallo $(\tau(t - \sigma - \omega), t)$. Certamente l'esposizione in tale intervallo elimina un individuo da (S) e l'esposizione prima di $\tau(t - \sigma - \omega)$ si conclude:

- in infezione, prima del tempo $t - \sigma - \omega$;
- in guarigione, prima di $t - \omega$;
- in riammissione da (S), prima di t .

Segue quindi che:

$$(2) \quad S(t) = I_1(t) + S_0 - \int_{\tau(t-\sigma-\omega)}^t (rIS)(x)dx$$

dove $rIS(x) = r(x)I(x)S(x)$. Notiamo che se $\omega = +\infty$ risulta:

$$S(t) = S_0 - \int_0^t (rIS)(x)dx$$

Oppure

$$S'(t) = -r(t) I(t) S(t)$$

Allo stesso modo, il numero di contagiosi al tempo t è dato dalla somma del numero dei contagiosi iniziali che sono ancora contagiosi al tempo t e dal numero degli individui esposti tra $\tau(t-\sigma)$ e $\tau(t)$.

Gli individui esposti prima di $\tau(t-\sigma)$ sono già guariti, mentre quelli esposti dopo $\tau(t)$ non sono ancora contagiosi. Tenuto conto di ciò risulta:

$$(3) \quad I(t) = I_0(t) + \int_{\tau(t-\sigma)}^{\tau(t)} (rIS)(x)dx$$

Il numero degli individui della classe esposta E al tempo t è dato da:

$$(4) \quad E(t) = \int_{\tau(t)}^t (rIS)(x)dx$$

Infine, poiché la popolazione è costante segue che

$$(5) \quad R(t) = N - S(t) - E(t) - I(t) = I_2(t) + \int_{\tau(t-\sigma-\omega)}^{\tau(t-\sigma)} (rIS)(x)dx$$

Le equazioni (1) e (5) sintetizzano il modello.

Teorema

A supporto di modello esposto si dimostra il seguente teorema che in questa fase riportiamo nel suo enunciato:

Se $\sigma > 0$, $m \geq 0$, e se $r(t)$ e $\rho(t)$ sono funzioni continue positive e $I_0(t)$ è una funzione valida, continua e non negativa, allora esistono funzioni continue $S(t) > 0$, $I(t) > 0$, $\tau(t)$ che soddisfano alle (1), (2) e (5). In oltre, queste funzioni dipendono da m , $r(t)$, $\rho(t)$, S_0 e $I_0(t)$.

Il contenuto di tale teorema ci assicura che il sistema che descrive il modello è valido.

24. Diffusione spazio-temporale del COVID-19

Il COVID -19 ha dimostrato di sapersi diffondere rapidamente a causa del movimento della popolazione e solo le strategie di contenimento e tracciamento dei contatti, seguite da quarantena e isolamento, ne hanno mitigato la rapidità di diffusione.

Introduciamo, ora, un modello dinamico di valutazione del rischio che consenta di passare dal numero di rigenerazione teorico a quello di rigenerazione effettivo e che possa facilitare a capire l'evoluzione dell'epidemia in base alle dinamiche della popolazione associate al luogo di contagio.

Per esempio, secondo alcune fonti sembra che gli uomini siano più suscettibili all'infezione rispetto alle donne e che i casi di mortalità si concentrino prevalentemente nella popolazione anziana affetta da altre patologie pregresse.

Questo è il caso tipico dove il modello dinamico può dimostrare tutta la sua efficacia. Strutturando la popolazione per fasce di età e per sesso, sarebbe possibile calcolare l'incidenza del contagio in ogni strato e verificarne gli effetti.

Ci sono poi vicende che, tra le falle della risposta alla pandemia, quella più tragica e dolorosa che ha completamente sconvolto i cittadini, riguarda le residenze per anziani.

Le cronache impietose di questi ultimi mesi hanno raccontato che in tali luoghi il numero dei casi è fuori controllo. Non si è saputo neppure se sono stati fatti davvero i tamponi, dove e quanti.

Anche in queste circostanze il modello dinamico avrebbe facilitato a capire l'andamento dell'infezione e, in sinergia con il monitoraggio in continuo a distanza dello stato di salute delle persone, avrebbe potuto evitare la rappresentazione crudele di dolorosi decessi e di disumane sofferenze.

Altre fonti, infine, hanno messo in relazione la virulenza dell'epidemia con le condizioni ambientali del territorio, ipotizzando che le polveri sottili (in particolare i pm_{10}) abbiano potuto favorire la diffusione del coronavirus.

La risposta a questi casi, e ad altri che si possono presentare all'attenzione, la si può dare affinando il modello con strumenti di ricerca.

Pur tuttavia si può affermare, senza tema di essere smentiti, che i modelli dinamici sono uno strumento potente per valutare in concreto l'impatto delle epidemie, per calcolarne i rischi e, conseguentemente, per adottare le strategie di supporto alle politiche di intervento al fine di salvaguardare la salute dei cittadini.

PARTE V^a – CLOUD SYSTEM

25. Smart Healthcare System
26. Sensori IoT e Client UX
27. Monitoraggio e diagnosi del paziente
 - 27.1. Assistenza in ambiti ristretti
 - 27.2. Prevenzione
 - 27.3. Gestione delle malattie croniche
 - 27.4. Assistenza a breve termine
28. Cloud Smart Healthcare
 - 28.1. User Management
 - 28.2. Client services
 - 28.3. Reporting & Analytics
 - 28.4. Enterprise integration
 - 28.5. Embedded SQL Data Store
 - 28.6. Push Notification

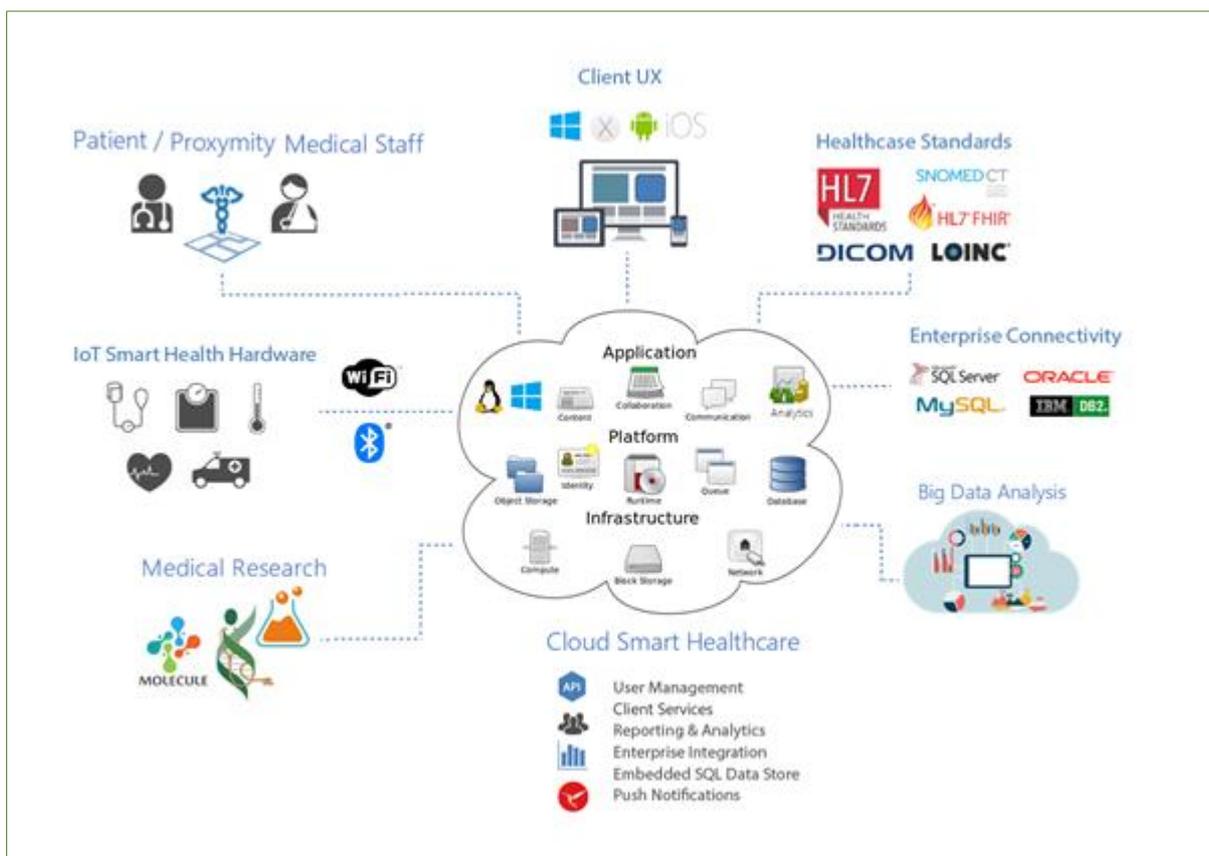


Fig. 2. Smart Healthcare System

25. Smart Healthcare System

Lo Smart Healthcare System (SHS) è un sistema con soluzioni innovative che consente nuovi modi di connettere pazienti, personale medico, strutture sanitarie e tecnologie avanzate, per un servizio di assistenza sanitaria a distanza veloce, sicura ed efficiente.

Offre un set completo di strumenti end-to-end con soluzioni funzionali per la realizzazione di servizi sanitari.

Il sistema è organizzato su tre livelli:

1. *Sensori IoT e Client UX*: Il primo livello riguarda i sensori e gli articoli intelligenti per il rilevamento dei dati. Questi vengono inviati al cloud dal paziente. (Fig. 2)
2. *Monitoraggio e diagnosi del paziente*: Il secondo attiene alla visita medica ed il monitoraggio dei soggetti assistiti, effettuati a distanza con la presenza in video del medico e del paziente;
3. *Cloud Smart Healthcare*: Il terzo riguarda la piattaforma cloud con le applicazioni e le infrastrutture e i servizi.

26. Sensori IoT e Client UX

Il primo strato è formato dai sensori che raccolgono i dati sullo stato di salute delle persone. Questi dati vanno ad arricchire le informazioni sulla storia clinica e sulle terapie effettuate dal paziente e su quanto altro utile a descrivere l'evoluzione nel tempo dello stato di salute della persona. Le tecnologie con le quali vengono raccolte e trasmesse le informazioni sono: IoT Smart Health Hardware e Client UX (fig. 2).

L'uso di semplici sensori da tempo è praticato con successo in ospedali e in altri istituti sanitari. La maggior parte delle diagnosi non potrebbe essere possibile né accessibile senza strumenti come il termometro, il misuratore della pressione, il monitor della glicemia, l'elettrocardiografia, l'elettroencefalografia ed altri.

Questi sensori sono in grado di rilevare segnali elettrici, termici, ottici, chimici, genetici e altri con origine fisiologica e aiutano a valutare lo stato di salute delle persone.

Oggi, grazie al progresso della tecnologia, questi sensori diventano sempre più intelligenti e con l'aiuto di adeguati algoritmi aiutano a calcolare, prevedere e misurare diverse caratteristiche della salute umana e lo stato vitale di un paziente.

Caratteristiche

Pur non entrando nello specifico delle scelte, anche perché tale compito appartiene alle Autorità sanitarie, diamo di seguito una breve illustrazione delle caratteristiche che possono aiutare a capire la dimensione e lo stato del progresso tecnologico.

- a. *Rilevamento*: Il coinvolgimento di nuove tecnologie efficaci ed economiche consentono una grande capacità di diagnosticare e fornire risultati immediati. Per esempio, un elettrocardiogramma senza contatto può essere utile per rilevare sintomi come malattie cardiache.
- b. *Costi*: Diversi anni fa la maggior parte dei sensori intelligenti erano piuttosto costosi e spesso non convenienti per larga diffusione e per le piccole cliniche. La rivoluzione in questo settore e la disponibilità di sensori economici permette di investire in queste tecnologie che, fra l'altro, rendono possibile un trattamento personalizzato.
- c. *Dimensioni*: Hanno dimensioni molto contenute. Il fattore "forma" è utile perché ne facilitano la portabilità, potendoli facilmente integrare in abiti e tasche.

- d. *Dati*: I dati raccolti dai sensori generano volumi crescenti e richiedono una valutazione adeguata da parte di medici, ricercatori ed esperti. La soluzione più funzionale è quella di trasferire nel cloud i dati generati per essere utilizzati, in parte dal medico di fiducia durante le visite mediche, in parte dallo stesso cloud per gestire, in modo diretto e flessibile, *Big data, Reporting e Analytics*.

27. Monitoraggio e diagnosi del paziente

Il secondo strato è formato dalle risorse informatiche allocate nel computer del medico. È il livello della diagnosi effettuata a distanza, con la presenza in video di medico e paziente (vedi paragrafo 17.6 *Real-Time Communications*). I dati rilevati vengono elaborati in tempo reale con l'ausilio di algoritmi intelligenti, consentendo al medico di monitorare lo stato di salute del paziente e formulare la diagnosi.

Nello stesso tempo i dati elaborati e la diagnosi, con piena garanzia della privacy, vengono inviati dal medico al cloud per ulteriori elaborazioni (*Big data, Reporting e Analytics*).

In caso di malattie che richiedono consulenze specialistiche, il medico di fiducia si attiverà per una collaborazione interattiva tra medicina generale e quella specialistica (*Smart clinic collaboration*).

27.1. Assistenza in ambiti ristretti

Più volte in questo documento sono stati evidenziati i vantaggi che l'assistenza sanitaria a distanza può offrire: confort, riduzione dei costi e snellimento della mobilità urbana con vantaggi sulla congestione del traffico e sull'inquinamento ambientale.

Tuttavia il servizio di assistenza presso la residenza familiare del paziente non sempre è possibile. Si pensi agli anziani soli che per motivi vari sono costretti a vivere in strutture comunitarie.

Le cronache del coronavirus, in questi mesi, hanno fatto conoscere vicende dolorose che hanno turbato la sensibilità civica del Paese.

Mai, come in questi casi, l'assistenza sanitaria a distanza e il monitoraggio in continuo dei pazienti poteva essere condizione necessaria per la sopravvivenza delle persone.

Se avessimo fatto ricorso a questi piccoli dispositivi intelligenti in grado di percepirne in tempo reale i sintomi, in Italia e forse anche nel mondo, avremmo potuto scrivere una pagina diversa della nostra storia.

27.2. Prevenzione

I dati generati dal paziente, anche in assenza di sintomi, sono utili per la prevenzione delle malattie. In questo caso a ricevere i dati non sarà il medico, ma il suo assistente virtuale. Come più volte illustrato in questo documento, l'assistente virtuale è un algoritmo che, supportato dai "big data", può rassicurare con un messaggio la persona sotto esame oppure, in caso di condizioni anormali, allertare il medico per le decisioni del caso. In questo capitolo presenteremo un algoritmo di questo tipo.

27.3. Gestione delle malattie croniche

Le informazioni a distanza assumono una importanza notevole in presenza di malattie definite "croniche", come: il diabete, i problemi cardiaci, il cancro, l'obesità, l'artrite, l'ictus ed altre.

A volte le persone affette da tali malattie sono costrette trascorrere lunghi periodi di tempo in ospedale per essere sottoposti a controlli.

In tali casi il monitoraggio a distanza ne rileva l'andamento e, di conseguenza, aiuta le persone a rafforzare la propria capacità di autocontrollo nel gestire una malattia con la quale dovranno convivere.

27.4 Assistenza a breve termine

Un'altra circostanza che rende utile l'assistenza a distanza è quella definita a “*breve termine*”, Le persone che sono state dimesse dall'ospedale dopo un trattamento per una malattia acuta hanno bisogno di essere seguite nel decorso e nella somministrazione della terapia.

Questo tipo di assistenza elimina la necessità di lunghe permanenze o rientri in ospedale durante la fase di recupero, consentendo ai pazienti di ricevere assistenza sanitaria di qualità, con il comfort di casa propria.

28. Cloud Smart Healthcare

Il cloud è un ambiente di ultima generazione con una vasta infrastruttura IT. È composto da una piattaforma di sviluppo e da dischi rigidi, contiene applicazioni software e data base ed è in grado di estrarre, raggruppare e condividere risorse di rete con una elevata potenza di elaborazione.

In altre parole il cloud è l'ambiente in cui viene svolta l'attività di computing, ovvero l'esecuzione dei carichi di lavoro, e vengono eseguiti applicazioni e servizi utilizzando due risorse importanti: l'astrazione e la virtualizzazione.

Astrazione: è una tecnologia eccellente che consente di creare più ambienti simulati o risorse utilizzate esclusivamente dal cloud per eseguire le applicazioni. Pur consentendo l'accesso a tutti, le specifiche di questa tecnologia e la posizione dei dati non vengono divulgate agli utenti.

Virtualizzazione: è una tecnologia che consente di creare servizi IT utili, sfruttando risorse tradizionalmente vincolate all'hardware. Questa tecnologia consente di sfruttare tutte le capacità del cloud, distribuendo le funzionalità tra più utenti o tra ambienti diversi.

Va subito detto che l'architettura o l'infrastruttura cloud perfette non esistono. Per questo motivo la migliore definizione di cloud si basa su ciò che l'ambiente è *in grado di fare*, piuttosto che sugli elementi che lo compongono.

Di seguito passiamo in rassegna alcuni servizi necessari:

28.1 User Management

La gestione degli utenti è la parte più importante dei web services forniti dal cloud. È suo compito autenticarne l'identità e gestirne in piena sicurezza l'accesso, ma anche di regolare l'uso delle varie risorse IT: sistemi, dispositivi, applicazioni, archiviazione dati, reti, servizi cloud ed altro ancora.

Poiché gli utenti hanno accesso a più servizi ed il cloud è chiamato a gestire più identità, sono necessari controlli molto rigorosi.

In ogni caso, un'interfaccia utente semplice e facile renderà più fluidi la complessità delle procedure informatiche e il crescente carico di lavoro cui deve far fronte il cloud.

28.2 Client services

È un servizio di rete che consente ai clients autorizzati di creare e pianificare flussi di lavoro (denominati pipeline), utilizzando procedure personalizzate. Il servizio è di grande utilità perché permette, anche ad organizzazioni esterne al settore sanitario, di utilizzare dati e report per fornire ai propri utenti servizi di approfondimento.

Di seguito un primo elenco di organizzazioni interessate a sviluppare un'ampia gamma di servizi e soluzioni:

- a. *Le Autorità sanitarie* dall'analisi dei dati possono attingere a informazioni utili al fine di valutare meglio le strategie di intervento a garanzia della salute pubblica;
- b. *La ricerca*. L'analisi di un gran numero di casi (*big data*) può facilitare l'attività di screening e può aiutare a valutare le caratteristiche e l'evoluzione di una patologia;
- c. *Le scuole*. L'obiettivo è quello di promuovere, in collaborazione con le strutture sanitarie, momenti di riflessione ed iniziative di apprendimento in grado di aiutare gli studenti a migliorare il proprio stile di vita, come target di azioni preventive, per evitare fattori di rischio di patologie cronico-degenerative e, in genere, di comportamenti non salutari;
- d. *I giornali*, non solo quelli di settore, svolgono una funzione molto importante nella società, vuoi come strumento di informazione con servizi sulla sanità e sullo stato di salute della popolazione, vuoi anche come fattore educativo per contribuire a rimuovere rischi e pericoli nocivi alla salute e per promuovere attività di prevenzione.

28.3. Reporting & Analytics

Sono due servizi importanti; entrambi sono preziosi, ma per scopi diversi: i rapporti forniscono informazioni, le analisi invece approfondimenti.

Il reporting dà la possibilità di organizzazione i dati in riepiloghi informativi, mentre l'analytics consente un processo dinamico di esplorazione sia dei dati che dei report al fine comprendere meglio la qualità dei servizi sanitari erogati e, se necessario, migliorarne le prestazioni.

In altre parole, l'analisi dei dati effettuata da adeguati algoritmi fornisce informazioni non solo di tipo quantitativo, ma dà risposte adeguate a quattro domande: *come?*, *dove?*, *quando?* e *perché?*

28.4 Enterprise integration

Enterprise Integration (EI) è un processo d'integrazione tra i diversi tipi di sistemi informatici attraverso l'utilizzo di software e soluzioni architetturali. Si occupa principalmente di aumentare l'interoperabilità tra persone, macchine e applicazioni per migliorare la sinergia all'interno del servizio sanitario al fine di realizzare meglio la missione.

In altre parole, EI da una parte si preoccupa di abbattere le barriere organizzative per migliorare l'efficienza dei servizi, dall'altra intende facilitare il processo decisionale ai vari livelli, con una significativa attività di semplificazione.

28.5 Embedded SQL Data Store

In un sistema client server, di solito, si utilizza un database allocato nel server e le due macchine (locale e remota) dialogano tra loro tramite un protocollo.

Questo approccio comporta fastidiosi e costosi tempi di latenza indipendentemente dalla velocità di connessione.

Invece, il database incorporato, "*Embedded SQL Data Store*", permette di trattare grandi volumi di dati laddove vengono generati, riducendo tra l'altro anche la larghezza di banda necessaria a trasferirli ed anche, rendendo inutile il trasferimento delle informazioni sul cloud, aumentando così la sicurezza e il rispetto della privacy.

Esistono dozzine di casi d'uso in cui le applicazioni possono permettersi di archiviare tutto a livello locale, uno fra tutti, il client in uso al medico di fiducia che elabora in loco i dati del paziente e trasferisce nel cloud solo quelli di interesse generali, identificati da un codice.

Un sistema di database incorporato può essere impostato in molti modi. Può includere progetti

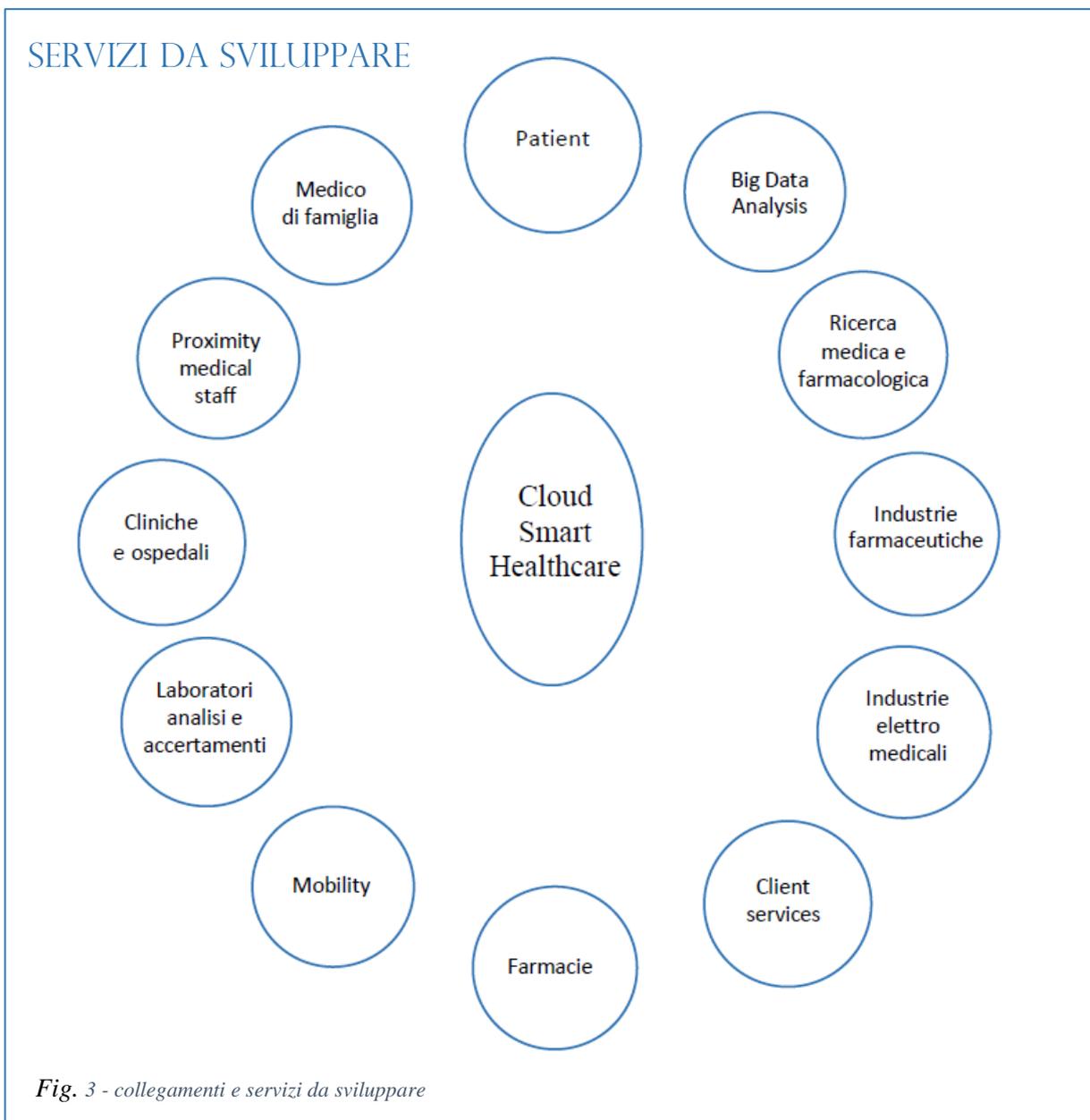
28.6 Push Notification

È un servizio cloud di comunicazione che consente di inviare in tempo reale un messaggio al medico, o ad un paziente o anche ad un utente qualsiasi per informarlo o allertarlo.

Tanto per fare un esempio, se i dati rilevati da un sistema di sensori (battito cardiaco, pressione, temperatura corporea o altri parametri) dovessero rivelarsi fuori norma, si da comportare un rischio per il paziente, il cloud invierebbe un messaggio di all'allarme che raggiungerà il medico curante ovunque e in qualsiasi momento.

L'aspetto fondamentale da sottolineare è che questo strumento vale molto di più rispetto agli altri canali di contatto (ad esempio messaggistica). Le notifiche "push" danno alle applicazioni un'opportunità unica di coinvolgimento e comunicazione con i propri utenti, quando usate correttamente.

I servizi "push" si basano su preferenze informative codificate secondo gli standard di comunicazione medica.



PARTE VI^a - CASI DI STUDIO

- 29 Introduzione
- 30 COVID-19: Checkup della popolazione
 - 30.1 Cittadino diligente
 - 30.2 Cittadino distratto
 - 30.3 Cittadino ansioso
- 31 I vantaggi di un sistema intelligente
- 32 Panico e COVID-19
- 33 Cardiopatie, Intelligenza artificiale e big data
 - 33.1 Fase 1 - acquisizione dei dati
 - 33.2 Fase 2 - estrazione delle caratteristiche
 - 33.3 Fase 3 – apprendimento
 - 33.4 Fase 4 - previsione

VALUTAZIONI CONCLUSIVE

29. Introduzione

La diffusione del coronavirus ha rappresentato una minaccia senza precedenti sia per la salute dei cittadini che per il sistema sanitario. La sua rapida diffusione, anche da parte di contagiati asintomatici, rende particolarmente difficile il controllo della malattia.

Il lungo periodo, poi, tra l'insorgenza dei sintomi e la diagnostica ne favorisce la diffusione.

Necessita, quindi, monitorare la popolazione e rilevare per tempo le manifestazioni dei sintomi al fine di assumere le decisioni conseguenti, evitando per quanto possibile di fare ricorso alle scarse risorse ospedaliere.

Con il caso di studio illustrato in questo capitolo, corredato da diagrammi ed algoritmi, se ne dimostra la fattibilità utilizzando la sinergia tra medico di base, cittadino e tecnologie intelligenti.

Sarà, inoltre, illustrato un secondo caso di studio focalizzato sulla rilevazione delle cardiopatie.

Come è ben noto le malattie croniche sono in continuo aumento, sono caratterizzate dalla loro lunga durata e richiedono approcci sistematici e trattamenti a lungo termine, spesse volte con ricoveri ospedalieri.

Questi due casi, qualora ce ne fosse ancora bisogno, servono a dimostrare come il modello di sanità illustrato in questo progetto può monitorare in tutta sicurezza la salute dei cittadini rimanendo comodamente a casa.

30. COVID-19: Checkup della popolazione

Supponiamo che le Autorità sanitarie decidano di monitorare, giornalmente, la popolazione per avere una visione dell'andamento della diffusione del COVID-19.

Supponiamo ancora che a tale adempimento i cittadini possano comportarsi in modi difforni. Si possono verificare tre casi:

- 1° caso: cittadino responsabile
- 2° caso: cittadino distratto
- 3° caso: cittadino ansioso

30.1. Cittadino responsabile

È il caso di quei cittadini che sono consapevoli dei pericoli e dei danni che la diffusione del coronavirus può causare e decidono di attivarsi nel fornire i dati. Il cittadino raccoglie i dati con i sensori e li invia al cloud.

a. Assistente virtuale

Dopo l'*Authentication*, l'Assistente virtuale del medico di fiducia (l'algoritmo) prende in carico i dati e li confronta con altri presenti in archivio.

Dopo averli analizzati e raffrontati con le indicazioni fornite dell'Autorità sanitarie (per esempio, temperatura superiore a 37,5°) l'assistente virtuale consulterà anche i profili forniti dalle elaborazioni dei *big data* e assumerà la decisione se ritenerli "normali" o meno.

In caso di dati normali l'Assistente li archivia come (*Typical Data*-TD) e il flusso dei messaggi termina a questo punto.

Se invece i dati sono ritenuti "anomali" (*Abnormal Data* -AD), allora l'Assistente virtuale genera un allarme e invia i dati e le sue valutazioni al medico di famiglia.

b. medico di famiglia

A questo punto è il medico di famiglia a decidere cosa fare: se ritenere i dati normali (TD) oppure se li ritiene meritevoli di approfondimento con il suo assistito.

Nel primo caso il medico conclude che l'allarme non corrisponde a una reale emergenza di salute e archivia l'allarme come (*False Positive Alarm* - FPA). Il flusso dei messaggi termina a questo punto.

Nel secondo caso, invece, il medico ritiene che l'allarme sia una reale emergenza medica (*Positive Alarm* - PA), quindi, se dopo la visita on line il medico ritiene reale la possibilità che i sintomi possano indicare una eventuale infezione del COVID-19, decide di allertare le Autorità sanitarie per gli interventi del caso, Diversamente decide di archiviare l'allarme come (*False Positive Alarm* - FPA). La Figura 4 presenta l'algoritmo decisionale.

Naturalmente sarà previsto uno scambio di messaggi tranquillizzanti con le persone sotto esame perché, in caso di epidemie, è facile farsi prendere dal panico.

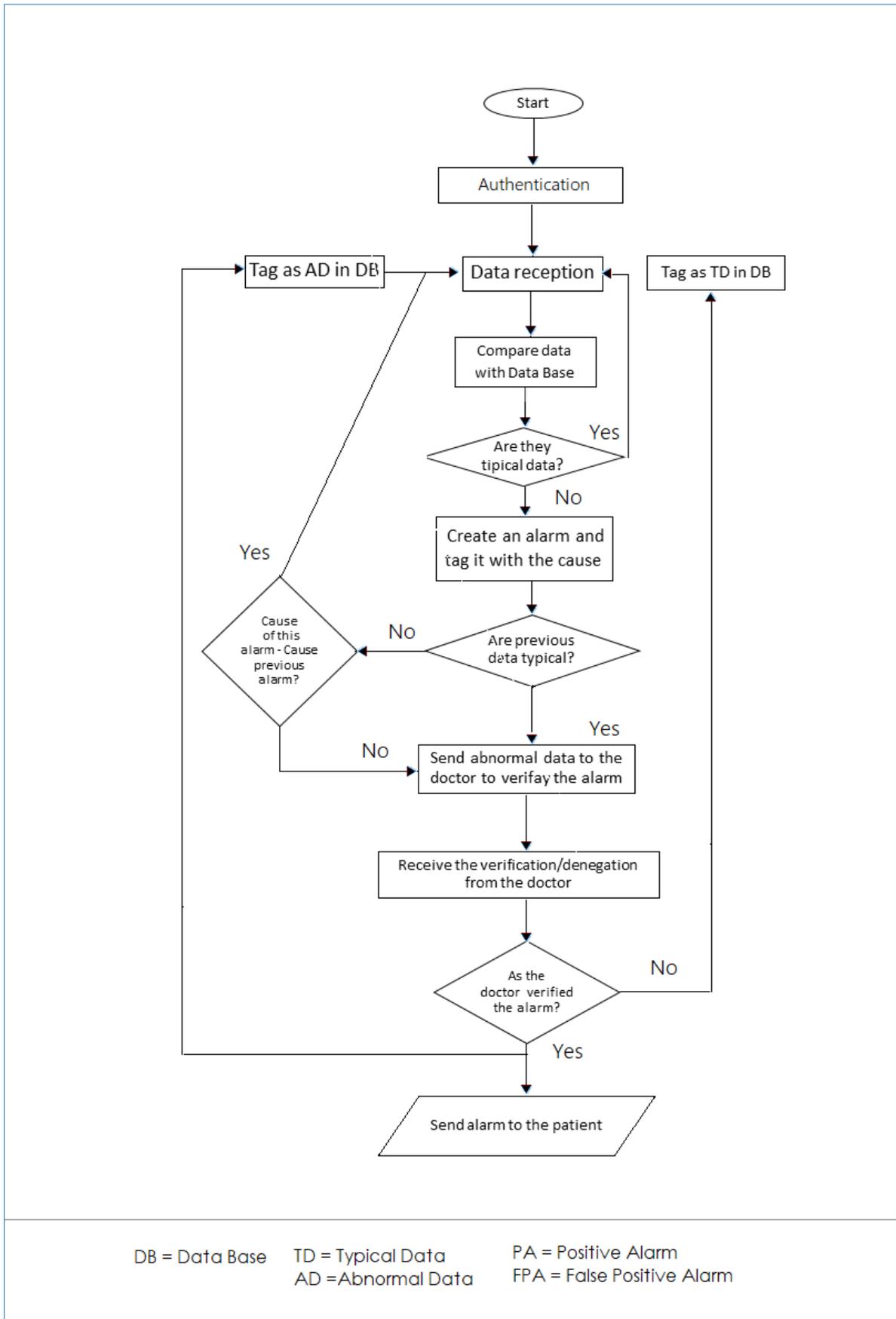


Fig. 4 algoritmo decisionale

30.2. Cittadino distratto

È il caso di persone che, per motivi vari, non prestano attenzione agli adempimenti imposti e non si attivano.

In questo caso sarà attivato un servizio messaggi per ricordare gli adempimenti. È evidente che il tutto sarà concordato con le Autorità sanitarie.

30.3. Cittadino ansioso

Il terzo caso comprende quei cittadini che oltre a inviare i dati come nel 1° caso, sentono il bisogno di lanciare un allarme per un sintomo sopravvenuto (per esempio, cambiamento della temperatura corporea). In questo caso rientrano anche quelle persone che, assai comprensibile in caso di pandemia, si lasciano sopraffare da uno stato d'ansia con i sintomi ad esso connessi.

In questo caso è previsto un pulsante di allarme che il cittadino può attivare per indicare una condizione anomala (invierà anche nuovi dati) e chiedere assistenza.

Come nel 1° caso i dati saranno presi in carica dall'assistente virtuale che verificherà se l'allarme indica o meno un'emergenza medica.

Se i dati vengono riconosciuti come emergenza medica, l'allarme viene considerato *Positive Alarm* (PA) e i dati vengono segnati nel Data Base come *Abnormal Data* (AD).

Viene quindi allertato il medico di famiglia che procede come nel 1° caso.

Se, invece, il medico di famiglia che conosce il paziente ritiene che i dati non corrispondano a un'emergenza medica, l'allarme viene considerato un *False Positive Alarm* (FPA) e non vengono intraprese ulteriori azioni.

L'algoritmo di attivazione del pulsante allarme è riportato in Fig. 5.

Con questa procedura, inoltre, il sistema è in grado di riconoscere e prevenire falsi allarmi (*False Negative* - FN), sia quando il pulsante viene attivato involontariamente, sia quando la persona da monitorare, per disturbi o disabilità, non è consapevole di quello che fa.

In ogni caso, se la causa del nuovo allarme è diversa da quella dell'allarme precedente (ad es. la causa dell'allarme precedente è l'ipertensione e la causa del nuovo allarme è una bassa frequenza respiratoria), il sistema lo valuterà come una nuova emergenza medica e attiverà la verifica medica.

Inoltre, per evitare scambio continuo di dati e processi di verifica a raffica, l'algoritmo è in grado di scartare l'attivazione del pulsante di allarme se è già stato attivato negli ultimi 10 secondi. In tal caso non viene intrapresa alcuna azione.

Se, invece, l'allarme non è stato attivato negli ultimi 10 secondi, il sistema presume che il paziente non si senta bene e decide di avviare il processo di verifica.

Naturalmente, come nel 1° caso, sarà programmato un sistema di invio messaggi per evitare che stati di panico possano causare disagi o spingere ad atti inconsulti.

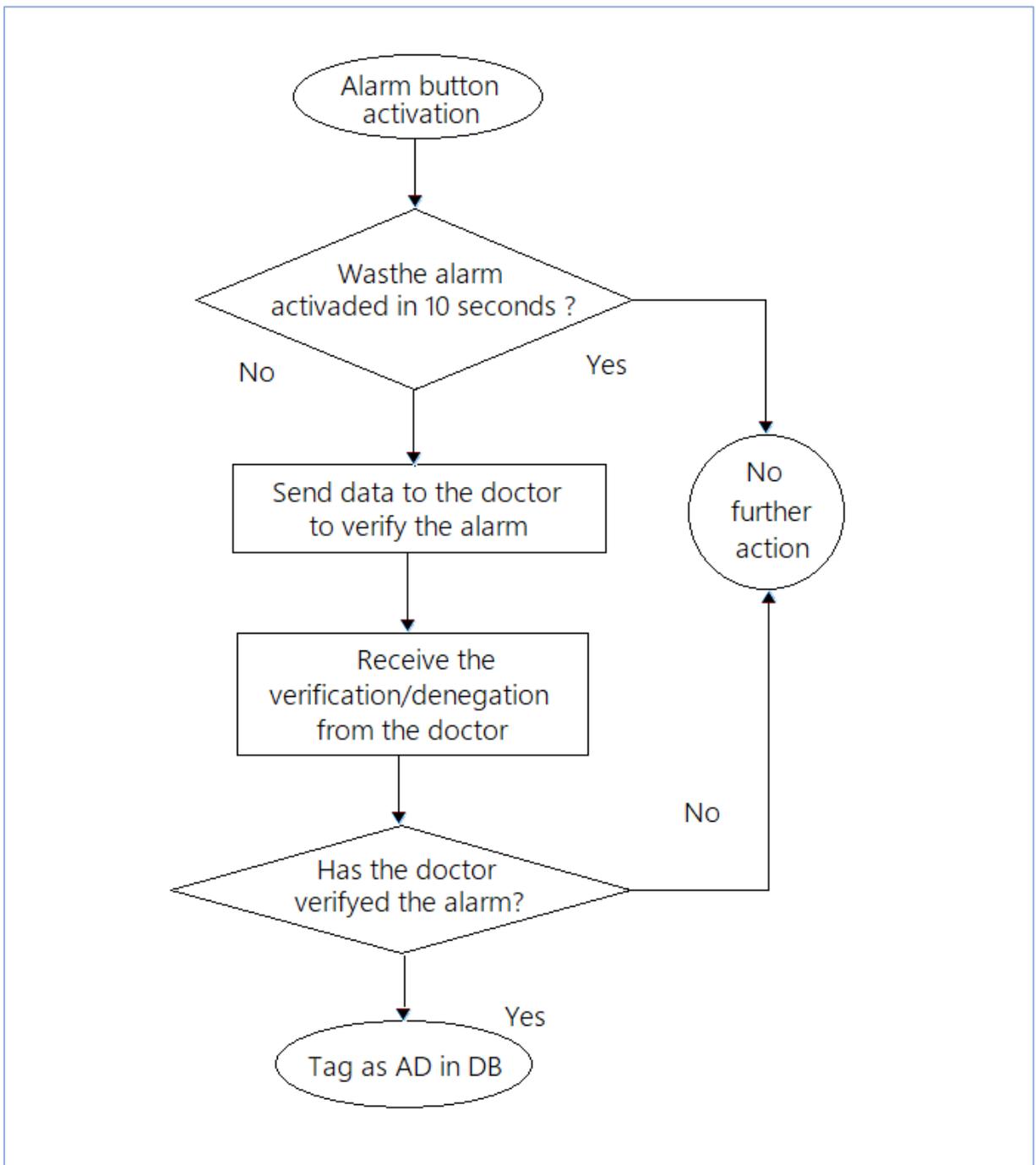


Fig. 5. Algoritmo decisionale in caso di attivazione del pulsante di allarme

31 I vantaggi di un sistema intelligente

Il pulsante di allarme descritto nel paragrafo precedente è diverso dai soliti pulsanti utilizzati per mandare messaggi o allertare qualcuno.

L'algoritmo decisionale descritto in Fig. 5 è supportato da un sistema intelligente che, con procedimenti matematici e regole logiche, fa parte di una rete neurale di apprendimento automatico sino a svolgere funzioni, ragionamenti e valutazioni tipici della mente umana.

A questo scopo si fa ricorso ad uno strumento importante per la progettazione dell'intelligenza artificiale, il "perceptrone". Esso è un classificatore lineare in grado riconoscere due classi di input diverse: "vero" o "falso".

Per completare quanto illustrato nel paragrafo precedente gli algoritmi usati tendono ad addestrare il perceptrone, verificando se l'allarme risponde o meno ad una emergenza medica o, in altre parole, se l'allarme inviato dovrà essere considerato "vero" o "falso".

In tal modo il sistema è in grado di adattarsi ai diversi casi descritti.

I principali vantaggi di un sistema intelligente sono:

- Il sistema può essere attivato da un pulsante di allarme o dal rilevamento dei dati effettuato, come di norma, dai sensori.
- Sono stati progettati due algoritmi decisionali per garantire il corretto funzionamento del sistema sia in caso di ricezione normale dei dati, sia in caso di attivazione del pulsante di allarme.
- Il dispositivo intelligente apprende da *Positive Alarm (PA)* e *False Positive Alarm (FPA)* chiedendo al medico la verifica dei dati raccolti.
- L'uso di un pulsante di allarme da parte del paziente, seguito dalla verifica positiva del medico, aiuterà il sistema ad apprendere da *False Negative (FN)*.
- Il primo algoritmo creato si esegue una volta al giorno o quando esiste una nuova emergenza medica (in altre termini, non viene eseguito quando è stato attivato alcuni secondi prima).
- Il secondo algoritmo è in grado di rilevare l'uso improprio del pulsante di allarme e scartare l'allarme.

32. Panico e COVID-19

Fra le conseguenze che in questo periodo di emergenza ha prodotto il COVID-19 ci sono anche i disturbi di ansia e di panico facilmente confusi con quelli di tipo respiratorio o cardiaco.

In questo paragrafo saranno presi in esame i cambiamenti del ritmo del cuore umano, indipendentemente dalle cause che li hanno prodotto, e saranno valutate con tecniche di apprendimento automatico in un sistema che fa uso dell'intelligenza artificiale e big data.

Come è ben noto le aritmie cardiache possono provocare disturbi gravi e, se sostenuti per lunghi periodi di tempo, anche danni irreparabili al cuore, certe volte fatali.

Quindi la capacità di identificare automaticamente le aritmie dalle registrazioni dall'elettrocardiografia (ECG) è importante per la diagnosi e i trattamenti terapeutici.

In questo capitolo esamineremo un caso di studio, utilizzando schemi di apprendimento automatico, per classificare l'aritmia dal set di dati medici forniti dall'elettrocardiogramma.

Lo scopo dello studio è classificare automaticamente le aritmie cardiache e studiare le prestazioni degli algoritmi di apprendimento automatico.

33. Cardiopatie, Intelligenza artificiale e big data

In un tempo scandito dal COVID-19, il processo di monitoraggio dell'intera popolazione genera una notevole quantità di dati, noti come "big data".

Questi dati sono generati da una serie di input inviati dai sensori e destinati a monitorare i parametri di salute dei cittadini.

Il sistema intelligente dopo avere elaborato i dati è chiamato a stabilire se esiste una emergenza medica e, quindi, allarmare il medico di famiglia. Queste attività sono possibili se il sistema fa ricorso all'intelligenza artificiale.

I sistemi intelligenti si basano su metodi di inferenza induttiva ed hanno una caratteristica straordinaria: sono in grado di anticipare il futuro in base ai dati osservati in passato.

Procedura: Come descritto nel paragrafo precedente il sistema, partendo da un processo di apprendimento automatico, è in grado di capire e valutare un insieme di dati utilizzando tecniche statistiche.

Alla base di questo processo operano algoritmi genetici ben strutturati. Algoritmi di questo tipo possono essere applicati a una vasta gamma di sensori e di patologie.

Come caso di studio prendiamo in esame una patologia legata al cuore: la cardiopatia. I parametri da rilevare sono quelli rilevati dall'elettrocardiografia (ECG) e quelli della frequenza cardiaca.

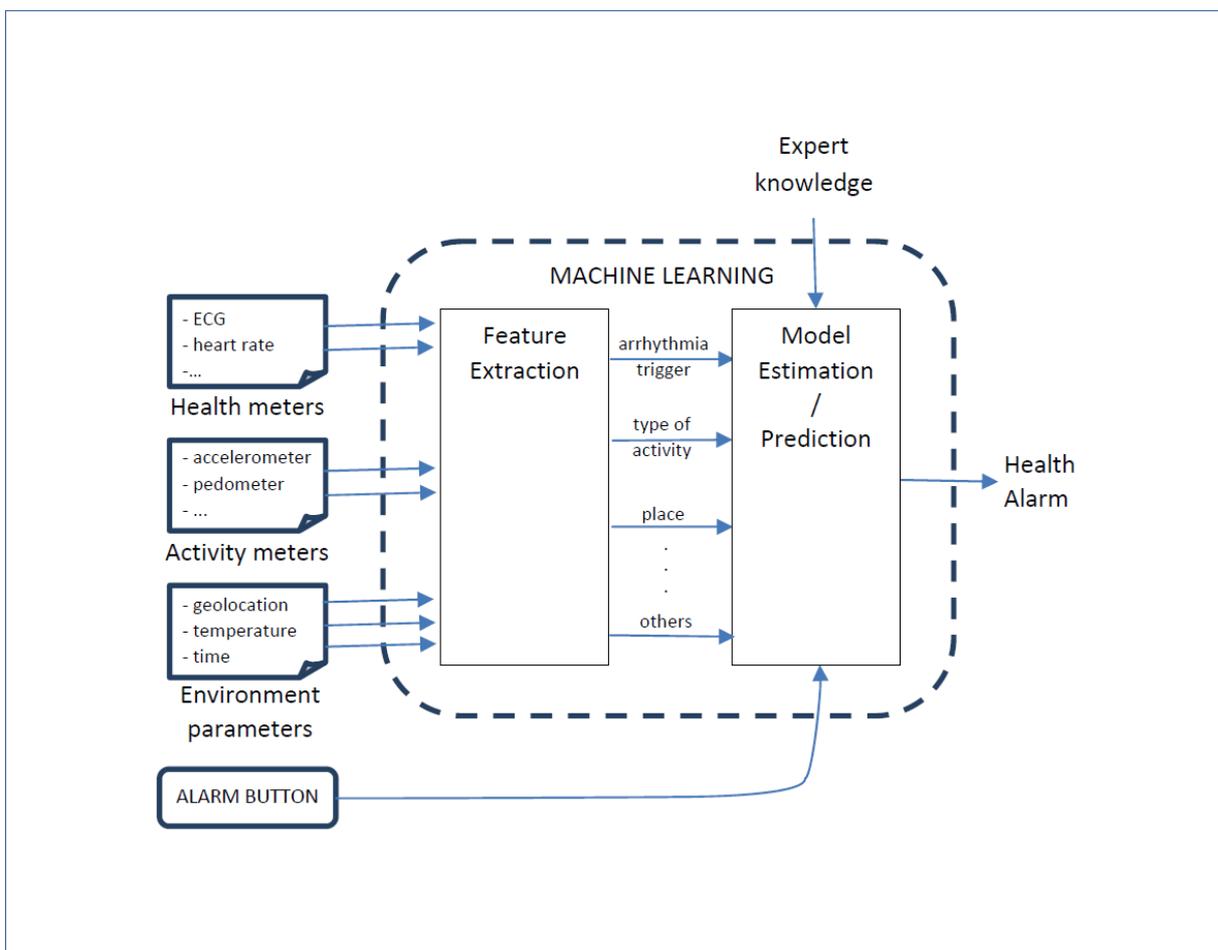


Fig. 6 – Diagramma di Machine learning

Lo schema di apprendimento automatico del sistema, sviluppato per la cardiopatia, è mostrato nella Figura 6. Esso è articolato in quattro fasi:

Fase 1: acquisizione dei dati di input

Fase 2: estrazione delle caratteristiche

Fase 3: apprendimento

Fase 4: previsione

33.1 Fase 1: acquisizione dei dati di input

I dati di input possono essere acquisiti direttamente dai sensori (*IoT Smart Health Hardware – Fig. 2*) o da altre tecnologie (*Client UX - Fig. 2*). Per una migliore comprensione è consigliabile classificare gli input in quattro categorie. I primi tre riguardano quelli destinati a rilevare i parametri sanitari della persona da monitorare, oppure parametri delle attività fisiche e ambientali. L'ultimo, invece, è il pulsante di allarme da attivare in caso di valori fuori norma o di trigger di aritmia.

Nel dettaglio:

- *Health meters*: sono i così detti “*misuratori di salute*” che rilevano i dati direttamente correlati alla salute della persona che si vuole monitorare. In genere sono: l'elettrocardiografia (ECG), la temperatura corporea, i dati sulla sudorazione, quelli sulla frequenza cardiaca, i valori sulla saturazione di ossigeno, la fotopleitismografia, la glicemia, la pressione sanguigna e la frequenza respiratoria. Siccome il caso di studio riguarda la cardiopatia, saranno presi in esame i dati di ECG e quelli della frequenza cardiaca.
- *Activity meters*: riguardano i dati rilevati dai “*contatori di attività*”, cioè quelli riferiti all'attività corporea della persona in esame. Per esempio, se una persona corre, le frequenze cardiaca e respiratoria aumentano immediatamente. Usando un accelerometro, è possibile sapere se il paziente in quel momento è in piedi, cammina oppure correre. Usando poi un contapassi, è possibile misurare la quantità di attività.
- *Environment parameters*: altri sensori possono misurare i parametri ambientali, cioè quelli relativi all'ambiente dove si trova il cittadino. Ad esempio, la geolocalizzazione indica se il paziente in quel momento è a casa o in strada, inoltre, la temperatura ambientale e se è giorno o notte. Per avere in tempo reale le informazioni, il cittadino può indossare sensori di posizione, un termometro e un orologio.
- *Alarm button*: Qualora la valutazione dello stato di salute del paziente dovesse rappresentare una emergenza medica, in tal caso sarà attivato il pulsante di allarme. Saranno previste due possibilità: allarme attivato dal cittadino o direttamente dal sistema.

33.2 Fase 2: estrazione delle caratteristiche

Ricevuti i dati di input, il sistema attiverà un algoritmo che provvederà ad elaborarli e valutarli. I valori estrapolati costituiranno le caratteristiche che andranno ad arricchire il processo di apprendimento e a generare una classe di modelli.

Altri dati possono essere forniti dalle altre tecnologie di input (per es., *Client UX - Fig. 2*). In questo caso l'algoritmo avvierà direttamente i dati al processo di apprendimento, senza una pre-elaborazione. È il caso dei valori relativi alla frequenza cardiaca o quelli del contapassi o della temperatura. In questi casi, però, i valori devono essere estratti da dati strutturati e immediatamente comprensibili.

Dopo il processo di estrazione (*Feature extraction*) la “*Machine learning*” è in grado di indicare le funzionalità ottenute:

Di seguito le descrizioni:

- *Arrhythmia trigger*: La *machine learning* elaborerà i dati fisiologici e fornirà una panoramica delle proprietà dei set di dati utilizzati per il rilevamento delle anomalie (in questo caso l'aritmia). Quando poi si prendono in considerazione dati rilevati in continuo, per esempio quelli rilevati da sensori indossabili, è possibile fare una previsione più accurata, molto utile per una efficiente diagnosi.
- *Type of activity*: Inoltre, utilizzando i dati forniti da un accelerometro è possibile rilevare l'attività o gli sforzi effettuati dal paziente. I valori possibili per questa funzione sono: stare in piedi, camminare, correre, andare in bicicletta, guidare o dormire. Altri sensori, come la frequenza cardiaca, possono aiutare a completare una valutazione adeguata.
- *Place*: Il luogo dove si trova il paziente può essere importante. Un sensore di posizione individua le coordinate e fornisce alcune informazioni relative al luogo dove vengono rilevati i dati. In una implementazione domestica possiamo distinguere: *casa*, *esterno*, *interno*. In una implementazione ospedaliera invece: stanza del paziente, WC e servizi igienici ospedalieri.

33.3. Fase 3: apprendimento

Dopo l'elaborazione dei dati e l'estrazione delle loro caratteristiche inizia la vera e propria fase di apprendimento. Questa è la fase più importante delle macchine learning. L'intelligenza artificiale è un settore della scienza molto vasto e usa tecniche di apprendimento differenti, a seconda della necessità di utilizzo.

Nel caso in esame (studio delle cardiopatie) la modalità più indicata è quella che fa uso del così detto metodo di apprendimento con il metodo deduttivo basato su regole logiche.

Alla base di questo procedimento va definita una rete neurale artificiale che con l'aiuto di un classificatore lineare aiuti a mappare un insieme di dati input e output.

Questo concetto è stato già introdotto in questo capitolo (vedi § 33. I vantaggi di un sistema intelligente), ed è stato definito con il nome di “*perceptrone*”.

Per raggiungere adeguati livelli di conoscenze specialistiche, è necessario istruire questo perceptrone e farlo addestrare durante la fase post-elaborazione dati, etichettando, di volta in volta, la verifica con “vera” o “falsa” a seconda che i dati indichino sintomi di aritmia o meno.

Va da sé che per un procedimento di apprendimento non basta la verifica di un solo caso; per un *deep learning*, cioè per un apprendimento profondo e affidabile, è necessario ripetere il processo in grandi masse di dati (big data).

33.3 Fase 4: previsione

Le tecnologie e i metodi analitici specifici per l'estrazione di valore e conoscenza finalizzati all'apprendimento automatico si basano su modelli matematici ed algoritmi allo scopo predisposti che in questo documento non è il caso sviluppare.

Una volta che il sistema ha raggiunto un livello elevato di interpretazione e conoscenza può essere utilizzato come modello significativo ed efficace nei processi decisionali. Se la verifica dei dati indica un rischio di emergenza medica si configurare il sistema per attivare l'allarme.

VALUTAZIONI CONCLUSIVE

In questo documento abbiamo fatto conoscenza con le tecnologie emergenti come l'Internet delle cose (IoT) e la rete5G. Abbiamo illustrato anche come *cadget* intelligenti, ancora poco sperimentati, possono consentire una vasta gamma di nuove e promettenti possibilità in materia di assistenza sanitaria.

In tempi di COVID-19, abbiamo dimostrato come è possibile monitorare i cittadini e, per agevolarne la comprensione, abbiamo corredato il documento di algoritmi in grado di diagnosticare i pazienti e di generare allarmi basati sull'analisi dei big data e sull'intelligenza artificiale.

L'assistenza sanitaria nella dimora familiare oramai è una esigenza della quale non se ne può fare a meno, sia per il confort dei cittadini e la riduzione dei costi, sia per lo snellimento della mobilità urbana, con vantaggi sulla congestione del traffico e sull'inquinamento ambientale.

Non sfugge a nessuno quanto sia importante la vivibilità e la tutela della salute nelle grandi città e, a tal fine, è sempre più esplicito il monito di studiosi ed economisti: "il futuro è vulnerabile".

Per questi motivi, oggi, anche i paesi ad economia sviluppata in presenza di vincoli di bilancio gravati dal debito pubblico, cominciano a parlare di "*sanità sostenibile*" come "*unità di sviluppo sostenibile*" dell'intero Paese.

In tale contesto la soluzione più idonea è, senza dubbio, rappresentata dai risparmi dei costi e dai guadagni di efficienza che, rimodellando modelli di sanità, la tecnologia intelligente produce.

In merito alle soluzioni avanzate prospettate dall'emergente tecnologia 5G, va subito chiarito che in atto l'assistenza sanitaria utilizza ampiamente la rete 4G.

Questa rete, se supportata da un'efficace strategia di impianto e da algoritmi intelligenti, può fornire un'ottima assistenza sanitaria a distanza a costi molto contenuti.

REFERENCES

- [1] A. Mannino, F. Paruzza, P. G. Reas, “Modelli matematici nella teoria delle epidemie” - Quaderni di BIOMATEMATICA - 1977 - Edigrafica Sud Europa.
- [2] P. Waltmant - “Deterministic Threshold Models in the Theory of Epidemics” - Springer - Verlag, New York, 1974
- [3] J. G. Defares, I. N. Sneddon, M. E. Wise - “An introduction to the Mathematics of Medicine and Biology” - North Holland Publishing Company, Amsterdam - London 1973.
- [4] M.S.Bartlett - “Stochastic Population Models in Ecology and Epidemiology” - Methuen and Co LTD, London 1970.
- [5] R. Bellman - “Modern Elementary Differential Equations” - London, Addison - Wesley, 1968.
- [6] Zhang, X. M., Zhang, N. (2011) An open, secure and exible platform based on internet of things and cloud computing for ambient aiding living and telemedicine. In Computer and Management (CAMAN).
- [7] Proadhan, U. K., Rahman, M. Z., Jahan, et. al. (2017) Development of a portable telemedicine tool for remote diagnosis of telemedicine application. In International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA-2017).
- [8] Yu M. Chi., Stephen R. Deiss, Gert Cauwenberghs. Non-contact low power EEG/ECG electrode for high densigy wearable biopotential sensor networks [J].
- [9] Liyakathunisa, Saima Jabeen, Manimala S, Hoda A. Elsayed – “Data Science Algorithms and Techniques for Smart Healthcare using IoT and Big Data Analytics”
- [10] SMART HEALTHCARE CHALLENGES AND POTENTIAL SOLUTIONS USING INTERNET OF THINGS (IOT) AND BIG DATA ANALYTICS:
 - Sherali Zeadally College of Communication and Information, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA,
 - Farhan Siddiqui Department of Mathematics and Computer Science, Dickinson College, Carlisle, Pennsylvania, USA,
 - Zubair Baig School of Information Technology, Deakin University, Melbourne, Australia,
 - Ahmed Ibrahim Department of Computer Science, University of Virginia, Charlottesville, Virginia, USA.
- [11] THERAPEUTIC AND TRIAGE STRATEGIES FOR 2019 NOVEL CORONAVIRUS DISEASE IN FEVER CLINICS - Jinnong Zhang, Luqian Zhou, Yuqiong Yang, Wei Peng, Wenjing Wang, Xuelin Chen:
 - Department of Emergency Medicine (JZ, WW), Department of Gerontology (XC), Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China;
 - First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, National Clinical Research Center for Respiratory Disease, Guangzhou Institute of Respiratory Health, State Key Laboratory of Respiratory Disease, Guangzhou, China (LZ, YY);
 - Division of ICU and Respiratory Service, Department of Internal Medicine, Salt Lake Regional Medical Center, Heart and Lung Institute of Utah, Salt Lake City, UT, USA (WP)

UNA PAGINA DIVERSA DELLA NOSTRA STORIA

La sanità si trova ad affrontare sfide epocali: dall'invecchiamento della popolazione, all'impotenza dinanzi alle tragiche conseguenze del coronavirus; dall'aumento dei costi per infrastrutture obsolete, alle tecnologie e ai protocolli a volte incompatibili con il diritto alla salute del cittadino.

Il COVID-19 ha dimostrato di sapersi diffondere rapidamente a causa del movimento della popolazione e solo le strategie di contenimento e tracciamento dei contatti, seguite da quarantena e isolamento, ne hanno mitigato la rapidità di diffusione.

Più volte in questo documento sono stati evidenziati i vantaggi che l'assistenza sanitaria a distanza può offrire: confort, riduzione dei costi e snellimento della mobilità urbana con vantaggi sulla congestione del traffico e sull'inquinamento ambientale.

Le cronache del coronavirus, in questi mesi, hanno fatto conoscere vicende dolorose che hanno turbato la sensibilità civica del Paese.

Mai, come in questi casi, l'assistenza sanitaria a distanza e il monitoraggio in continuo dei pazienti avrebbe potuto essere condizione necessaria per la sopravvivenza delle persone.

Se avessimo fatto ricorso a questi piccoli dispositivi intelligenti in grado di percepire in tempo reale i sintomi del COVID-19, in Italia e forse anche nel mondo, avremmo potuto scrivere una pagina diversa della nostra storia.