

50 anni di informatica medica, telemedicina e digital health nel mondo e in Italia: ruolo del CNR, ieri e oggi a 100 anni dalla nascita

Francesco Sicurello^{1,2,3*}, Alessandro Orro^{1,3}, Fabrizio Clemente^{3,5}, Giancarlo Mauri^{3,4}

1 CNR, Istituto di Tecnologie Biomediche (ITB), Milano, Italia

2 Istituto Internazionale di Tele-Medicina, Italia

3 Associazione Italiana di Informatica Medica e Telemedicina, Italia

4 Università di Milano Bicocca, Milano, Italia

5 CNR, Istituto di Cristallografia (IC), Napoli, Italia

*Corresponding author: francesco.sicurello@itb.cnr.it

Il presente contributo è il resoconto della giornata di lavoro del 25 novembre 2023 e sintetizza l'ampio dibattito svolto in sede congressuale.

Introduzione e definizioni

L'Informatica Medica, da ormai mezzo secolo, si è andata diffondendo come disciplina che studia concetti, metodi ed applicazioni della scienza e della tecnologia dell'informazione nell'ambito della medicina ed in generale del settore sanitario. Essa studia «i metodi di acquisizione, calcolo, elaborazione ed interpretazione dell'informazione compresa la preparazione dei dati medici richiesti per applicare i suddetti metodi» (F. Wingert).

L'Informatica Medica tratta quindi dati, informazione e conoscenza nel settore biomedico, la loro archiviazione e gestione ottimale per la soluzione dei problemi sanitari e le decisioni cliniche. Questa definizione, ripresa negli anni '80 da due pionieri americani, Maarsden Blois e Edward Shortliffe, considera l'Informatica Medica un campo scientifico in rapido sviluppo che si interfaccia con tutti i settori di base e applicativi della scienza biomedica ed è strettamente connessa alla tecnologia dell'informazione moderna, all'area del calcolo e della comunicazione (medical computing science).

Nella definizione di Informatica Medica Blois (1986) asseriva di prestare attenzione alla distinzione molto importante tra informazione e computer come strumento efficiente per il trattamento dei dati. Shortliffe (1983) enfatizzava l'Informatica Medica più che per le applicazioni dei computers alla medicina, per gli elementi di base del calcolo applicato alla medicina, cioè disciplina scientifica piuttosto che strumento. Anche l'olandese Van Bommel (1984) affermava che l'Informatica Medica doveva comprendere aspetti

teoretici e pratici del trattamento e della comunicazione dell'informazione, basato sulla conoscenza ed esperienza derivanti dai processi clinici. Per Majers (1986) l'Informatica Medica è un campo di conoscenze e di tecniche relative all'organizzazione e alla gestione di informazioni a supporto della cura dei pazienti (pratica clinica), della ricerca biomedica e della formazione continua dei professionisti sanitari. Per Lindberg (1987), l'informatica Medica fornisce basi teoriche e scientifiche per l'applicazione dei computer e dei sistemi informativi automatizzati alla biomedicina ed ai servizi sanitari.

In generale l'informatica Medica affronta diversi aspetti dell'attività sanitaria e della pratica clinica combinata a quella del calcolo e della gestione dei dati ed in particolare:

- trattamento ed elaborazione dei dati sanitari
- applicazione di concetti di base della scienza e tecnologia dei calcolatori alla medicina
- applicazioni computerizzate per la gestione e comunicazione di dati in medicina
- progettazione e strutturazione di data base clinici e di archivi sanitari
- architettura e sviluppo di Sistemi informativi ospedalieri e sanitari
- classificazione automatica di termini medici, sistemi intelligenti di supporto alla decisione e di analisi
- statistica dei dati in medicina.

In un ipotetico diagramma spaziale l'Informatica Medica può essere caratterizzata da tre assi: quello dell'informatica (trattamento automatico e computerizzato dell'informazione); quello della medicina (diagnosi, terapie, monitoraggi, prevenzione e riabilitazione, ricerca biomedica e formazione sanitaria continua) e quello della scienza e tecnologia (fisica, biochimica, bioingegneria, strumentazione elettronica ed elettromedicale, devices per segnali ed immagini da analogiche a digitali, mezzi di trasmissione, telecomunicazione in rete, ecc.).

Per distinguere l'Informatica Medica da altre simili applicazioni (informatica sanitaria, teleprenotazioni, ecc.) essa viene riferita solo alla gestione di dati medici utili al processo di diagnosi e cura. L'Informatica medica e la telematica sanitaria costituiscono insieme la cosiddetta sanità elettronica o e-Health o digital health.

Infatti la diffusione delle applicazioni informatiche in medicina ha man mano coperto tutti i settori ospedalieri ed i centri sanitari di diagnosi e cura: dal laboratorio di analisi alla radiologia, dalle cartelle cliniche di reparto o di ambulatorio medico agli archivi e

registri epidemiologici, dalle procedure amministrative alla programmazione sanitaria, dall'analisi statistica ai sistemi di supporto decisionale e poi dall'accesso ai siti web di letteratura e conoscenza medica come ad es. protocolli diagnostico- terapeutici ai servizi di telemedicina o medicina a distanza per telediagnosi, teleconsulti e telemonitoring.

La Telemedicina può essere considerata un'area disciplinare scientifica e tecnologica dove medicina, scienza dell'informazione (informatica) e tecnologia delle comunicazioni (telematica) si incontrano e convergono in applicazioni che stanno avendo un forte impatto nell'erogazione dei servizi sanitari e delle prestazioni mediche. Essa permette la trasmissione interattiva di dati, segnali ed immagini biomediche, in modo da fornire ai pazienti che si trovano in località remote, cure e trattamenti sanitari appropriati.

La telemedicina consiste quindi nell'uso dell'ICT (Information and Communication Technology) in campo medico per effettuare da remoto attività sanitarie e relativi procedimenti clinici (diagnosi, terapie, monitoraggio, riabilitazione, ecc.).

Con la forte diffusione delle reti o autostrade telematiche che caratterizza l'attuale società dell'informazione è possibile raccogliere ed integrare i dati sanitari del paziente, anche se questi si trova a notevole distanza, mediante l'ausilio di sistemi di telemedicina (teleconsulto/telediagnosi, tele monitoraggio, teleassistenza, ecc.). Il funzionamento di questi sistemi viene facilitato ora anche grazie alla diffusione di Internet ed alle tecnologie Web. La trasmissione, la raccolta e la messa in rete delle informazioni mediche attraverso appropriati siti web e/o portali sanitari sono di attualità. Il WWW ormai fornisce un mezzo universale per ricerche e consultazione dei dati sanitari, anche di tipo multimediale.

I sistemi di telemedicina, una volta validati, collaudati e regolamentati, possono essere usati oggi da ospedali e strutture sanitarie per telediagnosi e teleconsulti clinici in particolare per la teleradiologia, telecardiologia, telepatologia, ed anche telechirurgia.

Ultimamente i servizi di telemedicina si stanno orientando verso la teleassistenza sanitaria ed il telemonitoraggio di parametri clinici di una popolazione sempre più anziana e che presenta diverse patologie croniche.

Questi servizi vengono effettuati anche a casa del paziente (telehome care) grazie alla dotazione di particolari strumenti sensoristici o devices bio-medicali presenti sul mercato a costi accessibili come glucosimetri, pulsossimetri, spirometri, fotometri oculari, accelerometri, sistemi robotici, mezzi indossabili, ecc.

I vantaggi offerti dalla Telemedicina sul piano assistenziale sono notevoli in termini di

potenzialità di controlli sanitari sul territorio, riduzione dei costi, diminuzione dei disagi per molti soggetti per i quali l'alternativa è il ricovero in ospedale.

Nuovi servizi sanitari

Lo sviluppo dell'Informatica Medica e della Telemedicina si è consolidato con fasi di applicazione allorquando i progetti pilota ed i prototipi venivano validati. Quando una base tecnologica diventa matura, essa viene applicata su vasta scala: ad esempio i sistemi informativi ospedalieri e sanitari centralizzati in multi-utenza prima ed i sistemi informativi integrati mediante la tecnologia delle reti poi (Intra/Extranet). Lo stesso è accaduto più di recente per studi ed applicazioni informatiche nel campo dell'Intelligenza Artificiale e del machine learning, della neuroinformatica, delle reti neurali, della realtà virtuale (utilizzata spesso in chirurgia e neuroriabilitazione), dei web semantici e delle ontologie in biomedicina, della bioinformatica.

L'Informatica Medica e la Telemedicina non intendono rimpiazzare gli operatori sanitari ma supportarli tecnologicamente nell'erogazione di servizi clinici e contribuire al miglioramento del loro lavoro principale che è quello di curare il paziente.

La professione di informatico/telematico medico ha un ruolo sempre più importante nell'organizzazione, sviluppo e gestione di un sistema sanitario in tutti i suoi vari livelli. Medici, operatori sanitari, ricercatori, tecnici, professori e studenti, amministratori, ecc. hanno ormai una forte confidenza e anche una profonda conoscenza dei computer (in tutte le sue attuali espressioni PC, Tablet, smart phone, ecc.), dei linguaggi di programmazione, delle reti per la connettività. Ed essi progettano, sviluppano ed utilizzano ormai da tempo sistemi e prodotti informatici applicati alla medicina e alla sanità.

In medicina, come in molti altri campi tecnico-scientifici, un aspetto importante è quello dell'acquisizione di dati che diano informazioni utili alla comprensione di un fenomeno da analizzare e studiare o alla soluzione di un problema sulla base della conoscenza acquisita o condivisa in una comunità professionale.

Quindi c'è la necessità di inventare, migliorare ed usare strumenti capaci di misurare dei parametri e variabili e di catturare dati anche in modo indiretto, cioè al di là delle osservazioni dirette di un operatore (ad es. in campo clinico la descrizione anamnestica e/o l'osservazione obiettiva di segni e sintomi). In particolare in medicina vengono da

sempre utilizzati i risultati scientifici e tecnologici di altre discipline come la fisica, la chimica, la biologia, al fine di raccogliere informazioni rispetto per esempio ad anomalie nella struttura anatomica e nelle funzioni fisiologiche dei pazienti. La biochimica sta alla base delle analisi cliniche di laboratorio del sangue e delle urine, delle proteine e dei geni. Numerose sono le applicazioni della Fisica in medicina con strumenti come lo sfigmomanometro a mercurio, lo spirometro aerodinamico, lo stetoscopio acustico, il termometro a mercurio, microscopi e oftalmoscopi ottici, elettrocardiografi ed elettroencefalografi, fino allo sfruttamento di laser, particelle come raggi X, gamma, positroni, campi elettromagnetici, o alla medicina nucleare che utilizza i radioisotopi per identificare delle variazioni nella fisiologia. La TAC, l'NMR o la PET sono risultati della ricerca fisica applicati alla medicina, con il fondamentale supporto dell'informatica.

Con lo sviluppo di tecnologie complesse che producono dati indipendenti dal giudizio soggettivo del medico o del paziente, si è rafforzata la pretesa di decisioni obiettive ovvero meno influenzate da soggettività, aumentando così la dipendenza dei medici dalle tecnologie, e creando specializzazioni specifiche per esaminare i risultati di tali apparecchiature (ad es. per i radiogrammi i radiologi, per l'ECG i cardiologi, ecc.).

Negli ultimi tempi ha conquistato un'enorme importanza la diagnostica per immagini, nel settore radiologico ma anche cardiologico, oftalmologico, ecc. grazie al passaggio da strumentazioni di tipo analogico a quelle digitali sia semplici come ECG, ECO, EEG, EMG, retinografi, ecc. che complesse come NMR, TAC, PET. Il passaggio dall'analogico al digitale consente anche di integrare nei sistemi informativi ospedalieri e sanitari tutte le informazioni anche di tipo multimediale, sfruttando anche tutti i vantaggi del trattamento automatico delle immagini (ricostruzione, archiviazione, trasmissione, ricerca ecc.) che garantisce rapidità, economicità ed efficacia.

In questo contesto, si vanno sempre più diffondendo sistemi informatici di archiviazione e comunicazione di immagini come il PACS (Picture Archiving and Communication System), che vengono integrati nei sistemi e sottosistemi informativi sanitari (SIO - Sistema Informativo Ospedaliero, RIS-Radiological Information System, LIS-Laboratory Information System, ecc.). Nell'integrazione dei sistemi informativi assumono notevole rilevanza ed importanza i metodi di interoperabilità e gli standard informatici e di comunicazione, per far sì che ci possa essere indipendenza tecnologica dalle modalità o dai sistemi che producono segnali o immagini. Per queste ultime vi è uno standard

ormai affermato denominato DICOM (Digital Imaging and COmmunication in Medicine) usato per l'archiviazione e lo scambio di immagini biomediche specialmente in campo radiologico. Mentre l'HL7 (Health Level seven) è uno standard per l'interoperabilità dei dati sanitari compresi quelli clinici.

La messa in opera e la gestione dei sistemi informativi di diagnostica per immagini richiedono anche un'adeguata organizzazione e la disponibilità di specifiche figure professionali, che assieme alle competenze tipiche degli operatori e tecnici sanitari, abbiano una conoscenza di informatica e di tecniche di trattamento e gestione delle immagini, e siano in grado di comprendere il funzionamento di sistemi informatici complessi e multimediali.

Evoluzione storica

L'Informatica Medica, dalla seconda metà del XX secolo, è progredita assieme allo sviluppo tecnologico dei computer, sia in termini di hardware che di software. Si possono considerare 5 fasi storiche quali: applicazione dei computer alla strumentazione sanitaria e trattamento dei dati; sviluppo in ambito ospedaliero del CED (Centro Elaborazione Dati) per la raccolta ed elaborazione dei dati; trattamento dell'informazione e sviluppo di sistemi informativi sanitari centralizzati; database distribuiti e interconnessioni mediante reti locali e geografiche (LAN, MAN, WAN); basi di conoscenza, sistemi di supporto decisionale e applicazioni di reti neurali al campo biomedico: sistemi multimediali, realtà virtuale, telemedicina, Internet e web site e telematica in sanità.

La nuova disciplina venne adottata a partire dei primi anni '70 del secolo scorso in molti paesi anglosassoni, in Giappone ed altri paesi europei come Germania, Francia, Italia, ecc., grazie all'interessamento di grandi ospedali, centri di ricerca, università, industrie del settore informatico, delle telecomunicazioni, della strumentazione medica, ecc. Inizialmente, l'uso dei computer (si trattava a quei tempi di grossi mainframe) in campo medico/ospedaliero si limitava al calcolo ed all'elaborazione statistica dei dati clinici che avveniva con linguaggi di programmazione ancora distanti dall'utente e vicini al calcolatore (linguaggio macchina e Assembler).

L'evoluzione tecnologica dello hardware verso mini computer, personal computers, fino ai portatili degli anni 90 e ai vari devices elettronici frutto della telefonia mobile di questi ultimi 25 anni ha portato gradualmente alla diffusione capillare di questi strumenti anche

negli ospedali e negli ambulatori medici. L'obiettivo era sempre quello di far fronte, in termini di gestione ed analisi, alla notevole mole di dati che scaturiscono dal processo diagnostico e terapeutico medico, dovuto sia all'avvento di apparecchiature biomedicali sempre più sofisticate che alla necessità di studiare gli effetti delle terapie (farmaci, interventi chirurgici) elaborando i dati raccolti e registrati su documenti cartacei, schede perforate, nastri, dischi, chiavette, siti web, cloud, ecc.

Inoltre, con lo sviluppo di linguaggi di programmazione procedurali (di 3a generazione) e poi di 4a con i linguaggi di interrogazione di tipo standard, i linguaggi ad oggetto o i linguaggi in ambito networking come Java, si impongono i sistemi informativi automatici in grado di gestire il flusso di dati presenti in ambito medico, sia relativamente ai servizi sanitari, che ai pazienti oggetto del trattamento clinico (processo diagnostico/terapeutico).

La definizione di Informatica Medica, ovvero la combinazione di medicina e informatica apparve per la prima volta 50 anni fa, nel 1974, in tre pubblicazioni (*Education in informatics of health personnel* – ed. by Anderson, Pages, Gremy). In quello stesso anno si era tenuto il primo congresso mondiale di Informatica Medica (*Medinfo '74*) nei cui atti (ed. Anderson e Fonsythe) vi era un articolo a cura di Anderson, Gremy e Pages dal titolo: *Education requirements for Medical Informatics*. Furono anche formulate delle linee guida per un corso di insegnamento in informatica medica.

Alla fine viene riconosciuto il termine di Informatica Medica come combinazione dei termini informatica e medicina come era apparsa negli atti del MedInfo del 1974 e da allora si è sviluppata man mano seguendo l'evoluzione della scienza e delle tecnologie dell'informazione in tutti i suoi aspetti teorici e pratici. In quegli anni appariva sempre più chiaro che era necessario stabilire un unico nome per questo nuovo dominio scientifico e tecnologico, mentre nei 25 anni precedenti vi erano stati diversi progetti e pubblicazioni sull'uso dei computer in medicina e che con termini come: bioingegneria, scienza dei computer in medicina, medicina computerizzata, elaborazione di dati medici, trattamento automatico di dati in medicina, ingegneria del software in medicina, ecc.

L'informatica fin dall'inizio del suo avvento e man mano che si sviluppavano metodi e tecniche nuove di elaborazione e linguaggi di programmazione ha permesso di sviluppare in modo puntuale sia applicazioni con dati (sistemi di calcolo) che con informazione (sistemi informativi) e conoscenza (sistemi esperti).

Già negli anni '50 le risorse computazionali allora disponibili permettevano applicazioni orientate ai dati per ordinamenti, calcoli matematici e statistici. (In ambito medico oltre ai calcoli in clinical trials e in epidemiologia venivano effettuati controlli computerizzati dei dati prodotti nei laboratori ospedalieri di analisi. La nuova tecnologia ha permesso ai vari ospedali di raccogliere e controllare i dati clinici su una scala che precedentemente era fisicamente impossibile).

Successivamente negli anni '60-70 vi è stato l'avvento dei sistemi informativi o basati sull'informazione (insieme di dati con valore aggiunto) per gestire le elaborazioni quotidiane dei dati e presentarli in forme e combinazioni tali da supportare il processo decisionale medico.

Poiché il sistema informativo doveva mostrare i dati in combinazioni significative e in un ambiente operativo, venivano richiesti programmi applicativi per rispondere in modo effettivo alle richieste degli utenti (medici, amministrativi, operatori sanitari) per svolgere le loro attività quotidiane nella gestione di documenti sanitari.

La tecnologia dei sistemi informativi è divenuta idonea alla fine degli anni '70 e le applicazioni mature sono diventate di dominio pubblico negli anni '80. L'introduzione dei personal computer ha permesso di diffondere capillarmente tale tecnologia.

Con l'affermazione di strumenti di gestione dell'informazione, il software si è sviluppato seguendo due linee. Da una parte vi erano sistemi indipendenti dal dominio tecnologico che permettevano all'utente di eseguire applicazioni di gestione dei dati. Gli strumenti erano facili da usare e la comprensione dei dati e il modo di utilizzo del sistema erano lasciati alla responsabilità dell'utente. Una volta deciso ciò che doveva essere fatto e dopo aver definito i modi per raccogliere i dati, la creazione di un sistema per avere informazioni non era un compito difficile, ovvero, le parti difficili erano la definizione delle esigenze e la raccolta dei dati.

La seconda categoria delle applicazioni informative comprendeva sistemi che richiedevano un'integrazione sinergica tra i domini tecnologici ed applicativi.

Nel contesto dell'Informatica medica, le più importanti di queste applicazioni sono stati i sistemi informativi clinici, cioè le applicazioni basate su computer che mantengono un database a lungo termine, contenente i dati sanitari del paziente.

La telemedicina si è affermata invece negli ultimi 25 anni con lo scopo di supportare a distanza i processi di diagnosi e consulto clinico, di assistenza e monitoraggio sanitario.

E tutto ciò è stato reso possibile grazie allo sviluppo dei mezzi di telecomunicazione e della rete Internet e dei sistemi di navigazione ed accesso ai siti web (agli inizi degli anni '90 furono inventati al CERN di Ginevra il World Wide Web – WWW e il browser Netscape navigator, precursore di Internet Explorer e di Google).

I sistemi di telemedicina si sono sviluppati in modo notevole solo negli ultimi anni grazie allo sviluppo sia dell'informatica (in particolare sistemi software di gestione e trattamento di dati, segnali ed immagini) che dei mezzi di telecomunicazione (convergenza tra medicina, informatica, telecomunicazione, strumentazione biomedicale digitale).

Se non si considera il modo elettronico di archiviazione ed elaborazione dei dati medici e si considera solo l'interscambio informativo in modo non automatico, manuale od orale, allora si potrebbe parlare di telemedicina già con i servizi postali prima e poi con i sistemi di telegrafia e telefonia con fili e poi senza fili. In tal modo si potevano ricevere informazioni cliniche (anche se non precise ma solo descritte verbalmente) e fornire diagnosi e indicazioni di cure da parte dei medici (ad es. durante le guerre dall'800 alla 1a guerra mondiale o durante i periodi di pace per soccorrere i malati su navi mercantili o da crociera).

Con lo sviluppo della telefonia e dei primi strumenti elettromedicali di tipo analogico si potevano trasmettere oltre alla voce dei richiedenti il soccorso che descrivevano lo stato di salute anche dei parametri sanitari misurati come pressione, segnali ECG, suoni amplificati da stetoscopi, ecc.

Quando viene realizzata la connessione radio agli inizi del 900, diventa possibile fornire annunci radio che venivano sintonizzati molto velocemente. Ad es. nel 1920 l'Istituto Marittimo di New York diveniva una delle prime organizzazioni atta a fornire cure mediche via radio e negli anni '30 furono dei servizi radio medici con 5 stazioni marittime di altre nazioni.

La telemedicina verrà anche utilizzata negli anni '70 durante le avventure spaziali della NASA e dei sovietici, per monitorare lo stato di salute degli astronauti durante le missioni nello spazio.

Sempre negli anni '60-'70, grazie alla diffusione della TV venivano effettuati nei circuiti televisivi dei servizi per il personale medico e paramedico, impegnati in situazioni cliniche critiche. Ad esempio, nel 1964 veniva installato un sistema televisivo a circuito chiuso bidirezionale tra istituti di malattie mentali situati in due diversi stati americani,

permettendo così di effettuare consultazioni interattive tra specialisti e medici di base, facilitando aspetti formativi e l'addestramento a distanza. Un altro esempio dell'uso delle prima televisione in ambito sanitario è ancora più antico e risale addirittura al 1947: dei sistemi televisivi collegavano medici del principale ospedale di Boston, il MGH–Massachusetts General Hospital, con operatori del servizio sanitario dell'aeroporto cittadino; un circuito audio-video bidirezionale permetteva di fornire a passeggeri e lavoratori aeroportuali un servizio ed un supporto 24 ore su 24 ad infermieri grazie ai consigli dei medici ospedalieri collegati in audiovisione, registrando e documentando in quel periodo più di 1000 episodi di assistenza medica sanitaria a distanza.

Successivamente questi sistemi di telemedicina basati sulle videoconferenze si sono andati sempre più diffondendo, grazie allo sviluppo dei sistemi di telecomunicazione e della rete delle reti, cioè Internet. Con i moderni mezzi di comunicazione anche satellitare a banda larga, con la diffusione della rete Internet e della telefonia mobile e con l'evoluzione dei sistemi elettronici di calcolo (computer sempre più piccoli, sensori intelligenti e smart media come i telefonini cellulari, ecc.) oggi è possibile avere un'estensione dei servizi di telemedicina non solo tra ospedali e strutture sanitarie ma anche con i mezzi di emergenza sanitaria (ambulanze, ecc.), con il domicilio del paziente o in qualsiasi luogo. Si parla infatti di mobile health o m-Health molto utile specialmente in realtà ed aree geografiche vaste dove i centri clinici specializzati sono molto distanti (come in Canada, Australia, Norvegia, Russia, Brasile, ecc. e specialmente in molti paesi in via di sviluppo dell'Africa subsahariana).

Informatica medica e telemedicina in Italia

Queste discipline anche da noi seguono gli sviluppi delle tecnologie computerizzate in particolare nel secondo dopoguerra, contribuendo alla nascita di nuovi sistemi e nuove attività scientifiche e professionali. Negli anni '20 e '30 del Novecento, nasce a Napoli l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo (1927), 10 anni dopo aggregato a Roma al Consiglio Nazionale delle Ricerche, che era stato costituito nel 1923 con Marconi primo Presidente.

Nel 1935 viene istituito il CIRM (Centro Internazionale Radio Medico) con sede a Roma (presieduto anch'esso da Marconi), che nei decenni successivi assisterà migliaia di pazienti diventando una delle più grandi organizzazioni di telesoccorso nel mondo a far

uso primordiale della telemedicina. Nel secondo dopo guerra il CIRM incomincia a fornire supporto ed assistenza sanitaria oltre che ai passeggeri sulle navi anche a quelli sugli aerei e poi agli abitanti di isole minori non servite da strutture ospedaliere. Negli anni '50 anche in Italia vengono introdotti i primi computer, a partire dal Politecnico di Milano e Dall'Università di Pisa, ove nascono Centro Studi Calcolatrici Elettroniche (CSCE) e un Centro di ricerca sul calcolo elettronico, sostenuto da un Consorzio tra le province di Pisa, Lucca e Livorno e da Olivetti, allo scopo di progettare e realizzare il primo calcolatore elettronico italiano.

Al CSCE viene messo a punto un primo tipo di calcolatore-pilota italiano detto CEP, Calcolatrice Elettronica Pisana, inaugurata presso l'Università di Pisa nel 1961 dall'allora presidente della Repubblica Gronchi.

Due anni prima, alla Fiera di Milano, l'Olivetti espone e commercializza il primo computer elettronico a transistor italiano, Elea 9003, progettato e realizzato da operatori informatici nei laboratori di Barbaricina (Pisa) prima e di Borgolombardo (Milano) dopo. Sempre in quegli anni presso varie grandi imprese, presso banche ed alcuni settori della Pubblica Amministrazione e della Sanità (come l'Istituto dei Tumori di Milano) vengono introdotti dei grossi elaboratori per la gestione amministrativa, come paghe e stipendi, e per il calcolo automatico e l'elaborazione statistica di dati scientifici e sanitari.

In quegli anni del forte boom economico italiano nascono consorzi come il CILEA (Consorzio di Elaborazione Automatica delle università della Lombardia) e lo CNUCE (Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico) che l'Università di Pisa istituisce nel 1965, dopo una donazione di un grosso elaboratore da parte di IBM. Con lo sviluppo impetuoso delle reti di calcolo e dei data farm i vari centri pubblici di calcolo automatico si integrano poi nel CINECA di Bologna.

Nel 1960, grazie a ricerche e studi di biologi, fisici, informatici, viene formulato il termine bionica (simulazione di organismi viventi con dispositivi analogici) con il forte contributo italiano in questo campo fornito dal Laboratorio di Cibernetica del CNR, diretto da Eduardo Caianiello dell'Università di Salerno e negli anni '70 dall'Istituto di Cibernetica diretto da Gianni Degli Antoni dell'Università statale di Milano.

Anche l'Informatica Medica e la Telemedicina si sono sviluppate grazie ai contributi di ricerca di molte strutture e tanti professionisti del settore medico, dell'ICT, della fisica, dell'ingegneria, presenti ed attivi in università, centri di ricerca, aziende di informatica

(Hw e Sw) e di telecomunicazione, enti pubblici e privati erogatori di prestazioni sanitarie (ospedali, laboratori, ambulatori, ASL) allo scopo di gestire sistemi informativi sanitari in modo automatico ed integrato in reti locali e territoriali.

Un ruolo l'hanno avuto le varie associazioni e società scientifiche operanti in questo nuovo segmento della scienza e della tecnica costituito dalle applicazioni dell'Informatica (nel 1958 viene costituita l'Associazione Italiana di Calcolo Automatico (AICA), quando nel nostro paese sono installati una decina di elaboratori elettronici).

Nello specifico settore delle applicazioni elettroniche ed informatiche in Sanità, dopo la costituzione di gruppi di utenti, di ricercatori e professionisti medici, viene creata negli anni '70 l'Associazione Italiana di Informatica Medica, AIIM, e poi l'Associazione Italiana di Telemedicina e Informatica Medica- @ITIM), la SIT - Società Italiana di Telemedicina ed altri ambiti associativi.

La riforma del Sistema Sanitario Nazionale, entrata in vigore nel 1978, che gettava le basi per una trasformazione radicale della filosofia e dell'organizzazione dei servizi sanitari nel nostro paese, ha avuto un ruolo importante per l'affermazione dell'Informatica in medicina e nel settore sanitario. Con quella legge veniva enunciato il ruolo centrale della regolamentazione e gestione dei flussi informativi sanitari per supportare gli aspetti di medicina curativa ed anche preventiva.

Nello stesso periodo (1976) si verificava purtroppo un incidente ecologico con forti ripercussioni sulla salute pubblica in una vasta area densamente popolata a nord di Milano: il cosiddetto "disastro Icmesa" che contaminò il territorio attorno al comune di Seveso con una sostanza fortemente tossica come la diossina. Per far fronte all'emergenza e per controllare e contenere i danni, non noti o prevedibili, sulla salute venne attivato dalla Regione Lombardia uno straordinario piano di intervento sanitario, che faceva leva sull'uso dell'informatica nella gestione della notevole mole di dati da acquisire e da elaborare, sia per monitorare lo stato di salute della popolazione colpita che per comprendere il fenomeno allora ancora poco noto sul potenziale rischio sanitario (malformazioni, tumori, ecc.). Si fece ricorso così ad un computer di media potenza presente presso l'ospedale di Desio, al software installato e all'esperienza informatica relativamente al progetto SIF/Sistema Informativo Farmaceutico coordinato dall'Istituto Farmacologico Mario Negri, per sviluppare un sistema informativo territoriale di sorveglianza sanitaria inserendo, gestendo e trattando dati di laboratorio e di visite

cliniche di un gran numero di cittadini coinvolti.

L'informatica applicata alla medicina o ai processi sanitari si impose da allora in poi, determinando de facto anche nel nostro paese la nascita dell'Informatica Medica come scienza applicata che ha contribuito al processo di trasformazione e di innovazione del sistema sanitario locale, regionale e nazionale.

Da allora l'informatica italiana in campo medico e sanitario ha attraversato diverse fasi di sviluppo, seguendo le evoluzioni tecnologiche (dai grossi e medi computer ai PC e alle reti, dai data base e linguaggi di programmazione dedicati fino ai DBMS (Data Base Management Systems) ed agli standards di programmazione attuali, partendo dai settori amministrativi ospedalieri, ai laboratori di analisi, fino a quelli diagnostici e di reparti clinici).

Il livello universitario ha accolto timidamente questa nuova disciplina ma lentamente, grazie anche all'impulso di associazioni e società scientifiche, essa si è saputa imporre nelle varie istituzioni che gestiscono la sanità a livello centrale e locale e nelle stesse aziende fornitrici di prodotti e servizi di informatica in campo medico.

I progetti si sono via via moltiplicati e i professionisti (medici, fisici, informatici, ingegneri) coinvolti sono aumentati notevolmente. Diversi progetti innovativi sono stati presentati a livello nazionale ed internazionale ed in particolare in ambito europeo nei vari programmi di Ricerca e Sviluppo di ICT in sanità (dal III al VII Programma Quadro di R&S, da Horizon 2020 alle fast call per il Covid 19 e all'attuale programma Horizon Europe).

Negli anni '80 sono stati sviluppati diversi progetti: da quello finanziato dal Ministero della Sanità SISNET a quelli del CNR (Progetto Finalizzato "Calcolo Parallelo" Progetto Finalizzato FATMA di medicina preventiva, ecc.). Negli anni '90 è stato varato un vasto programma nazionale (TELEMED) da parte del Ministero della Ricerca Scientifica e Tecnologica, dove oltre agli aspetti informatici venivano enfatizzati anche quelli della comunicazione visto l'avvento delle tecnologie di comunicazione e delle reti, dando così impulso alla telemedicina.

Di recente assistiamo sempre nel nostro paese ad una riprogettazione di sistemi informativi sanitari locali, regionali e nazionali (come il Sistema Informativo Sanitario della Regione Lombardia, il Sistema integrato di alcune ASL del Veneto, i sistemi informativi di Toscana, Emilia – Romagna, Puglia, il Nuovo Sistema Informativo Sanitario Nazionale), sistemi ormai basati su nuovi standard e su infrastrutture di rete che evolvono verso

tecnologie avanzate quali le cosiddette GRID Technology o il Cloud computing applicati al settore sanitario (reti ad alte prestazioni di Calcolo GARR, Cineca, ecc.). In questo contesto si sono sviluppati centri di Informatica sanitaria, di telemedicina e di Digital Health in quasi tutte le regioni, mostrando dei limiti di interoperabilità che sono stati stridenti durante l'emergenza della pandemia da Covid 19 ed in parte superati a livello nazionale da strutture ministeriali, dalla conferenza Stato Regioni, da Agenas e dal nuovo Centro di Telemedicina dell'Istituto Superiore di Sanità.

Oltre alla partecipazione italiana in molteplici programmi Europei di informatica medica, telemedicina e e-health, un grosso contributo alla loro diffusione è stato dato anche dalla cooperazione internazionale tra l'Italia e vari paesi nel mondo (in particolare quelli in via di sviluppo) e che ha supportato progetti tra strutture sanitarie italiane e di diversi paesi quali ad es. dell'Est, del Mediterraneo, America latina, Africa.

Tanti sono stati e sono gli studiosi, ricercatori, professionisti ed operatori italiani che hanno contribuito alla nascita e sviluppo dell'Informatica Medica, della Telemedicina e dell'e-Health (con molti dei quali si è lavorato e si lavora ancora insieme). Vogliamo ricordarne alcuni in particolare, quali: Mario Stefanelli, Edoardo Casiraghi, G. Scarda, Sandro D'Atri e Riccardo Maceratini (che da tempo ci hanno lasciato), e poi A. Serio, T. Andreani, P. Manacorda, P. Spaggiari, Molino, Torasso, Tagliasco, F. Pincioli, M. Bracale, P. Mocarelli, F. L. Ricci, G. Comi, N. Balossino, A. Nicolosi, A. Rossi Mori, M. Rafanelli, P. Cristiani, G. Pellicanò, S. Quaglini, R. Bellazzi, P. M. Gerthoux, D. M. Pisanelli, V. Della Mea, A.F. Dragoni, F. Ferri, G. Parati, C. Azzolini, R. Antonicelli, E. Guffanti, S. Pillon, G. Mastronardi, L. Milanese, R. Cattaneo, P. Magretti, I. Pannone, C. Ruggiero, C. Larizza, F. Zennaro, V. Papa, F. Beltrame, A. Pernice, M. Giacomini, L. Buccoliero, P. Marino, M. C. Gilardi, P. G. Cerello, G. De Pietro, M. Bartolo, S. Bella, M. Ciampi, A. Donzelli, W. Antonucci, W. Bergamaschi, G. Delgrossi, R. Orsini, M. Casciello, G. Andreoni, F. Adorni, S. Mazzoleni, M. Bochicchio, A. Santone, E. Santoro, M. Grigioni, D. Giansanti, F. Pecoraro, D. Luzi, F. Murgia, F. Gabbrielli, F. Consorti, B. Beomonte Zobel, P. Di Giacomo, G. Cognetti, ecc.

Attività di ICT in sanità presso il CNR

Come accennato in precedenza il CNR, sin dalla sua nascita nel 1923, è stato impegnato nello sviluppo di molteplici attività scientifiche, tecniche e culturali e di ricerca di base ed applicata in diversi settori tra cui quello biomedico.

Il campo dell'informatica, del calcolo automatico e della digitalizzazione inizia a svilupparsi particolarmente nel secondo dopoguerra con l'introduzione e la diffusione sempre più ampia di computers, inizialmente da quelli grandi o mainframe e poi ai mini e personal computer, ai tablet ed agli strumenti di smart fonia, ecc. di oggi. Precedentemente lo sviluppo riguardava la telefonia fissa e senza fili, radiofonia, elettrologia ed elettronica delle prime generazioni.

A Pisa il Centro Studi Calcolatrici Elettroniche (CSCE) che aveva ideato, Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP) ed aveva partecipato allo sviluppo del primo calcolatore italiano Elea 9003, nel 1961 diventa un organo di ricerca del CNR.

Qualche anno dopo, tra il 1964 e il 68, il CSCE si trasforma in Istituto di Elaborazione dell'Informazione (IEI), per lo sviluppo della ricerca in informatica, dove viene anche attivato il Corso di specializzazione in calcolo automatico, prima attività didattica a livello post-laurea. E nel 1969 presso il CNR di Genova costituito il Laboratorio (poi Istituto) di Cibernetica e Biofisica. In quell'anno 1969 con l'apporto scientifico dell'IEI-CNR viene aperto a Pisa il primo corso di laurea in Scienze dell'Informazione con centinaia di studenti (inaugurazione del rettore dell'Università, prof. A. Faedo poi presidente del CNR. Successivamente verranno aperti stessi corsi di laurea in informatica ad Udine, Salerno, Bari, Torino, Milano, ecc. grazie anche al fatto che in quel periodo di ampio accesso agli studi universitari e di movimenti studenteschi il CNR crea dei Centri di studio in informatica presso Università (CENS-Torino, CSISEI-Milano, CIOC-Bologna, CSCCA-Roma).

Nel 1974 anche il CNUCE diventa organo del CNR con compiti di ricerca e servizio nel calcolo automatico, reti, banche dati. Nel 1978 il CNR istituisce la Commissione Generale per l'Informatica (CGI) con compiti di programmazione e coordinamento delle iniziative nel settore informatico. Poi verrà costituito un apposito Comitato. Sempre a Pisa in quell'anno il CNR crea l'Istituto di Linguistica Computazionale (ILC) per la ricerca e sviluppo delle applicazioni informatiche in settori ed ambiti sociali e culturali molto diversi da quelli tradizionali tecnico-scientifiche (oggi uso dei social media, Intelligenza Artificiale, ecc.).

Nel 1979 il CIPE approva uno studio CNR di fattibilità per il Progetto Finalizzato Informatica che operativamente inizia nel 1980. In questo stesso anno al CNUCE di Pisa viene installata un'antenna ricetrasmittente di tre metri, per una rete europea in

Italia di connessione dei laboratori italiani dell'INFN con altri laboratori europei di fisica nucleare per il rapido scambio di dati sulle ricerche effettuate al CERN di Ginevra. La rete in quel periodo è stata collaudata dal CNUCE per mezzo del satellite italiano Sirio. Questa infrastruttura evolverà a fine secolo nella cosiddetta rete GRID Giant utilizzata anche in campo medico, come ad es. nel progetto MammoGrid di scambio ed elaborazione di immagini di mammografie.

Nel 1988 il CNR istituisce il Comitato Nazionale di Consulenza per la Scienza e le Tecnologie Dell'Informazione per accompagnare anche lo sviluppo di un'infrastruttura informatica scientifica a livello nazionale e internazionale. Nel 1990 il CNR (Presidente Luigi Rossi Bernardi) rende operativo il Progetto Finalizzato Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo, già approvato dal CIPE. affidato per l'esecuzione al CNR. Un altro Progetto Finalizzato era sulle Telecomunicazioni, molto importante per lo sviluppo delle risorse di calcolo e delle reti su base geografica. E nel 1995, nell'ambito del Progetto Finalizzato Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo, il CNR con altri Enti Pubblici di ricerca, Università e Finmeccanica, sviluppa un progetto nel settore del calcolo ad alte prestazioni.

E alla fine del secolo scorso col cambio di millennio e le paure del millenium bag, vengono sviluppati vari progetti come quello su Reti multimediali interattive di accesso all'utente, un progetto di attività internazionali a supporto dello sviluppo della Società dell'Informazione.

Grazie all'esperienza, al know how progettuale e ai risultati di ricerche ed innovazioni in campo scientifico e tecnologico nello specifico del computer science, delle telecomunicazioni e della digitalizzazione, il CNR contribuisce fortemente all'approccio italiano all'informatica sanitaria. Una tappa è stata la presentazione dei sistemi informativi sanitari sviluppati in Italia ad un seminario tenuto nell'ambito internazionale di Medinfo 83. Qui il ruolo centrale del CNR era stato proprio quello di aver illustrato i risultati di progetti speciali di informatica, uno dei quali doveva supportare il sistema informativo sanitario previsto dal piano sanitario nazionale per la realizzazione della legge di riforma 833/78. In quest'ambito citiamo il progetto SISNET per un Sistema Informatico Sanitario in rete, finanziato nel 1980 dal Ministero della Sanità e la partecipazione del CNR avviene col Progetto Finalizzato "Calcolo Parallelo". Nel 1990 un altro Progetto Finalizzato CNR (FATMA di medicina preventiva, ecc.) ha permesso lo sviluppo dell'informatica medica in epidemiologia e nelle reti di prevenzione delle malattie. In quest'ambito venne creata

l'Unità Operativa di Informatica Medica presso l'Istituto di Tecnologie Biomediche Avanzate (ITBA) del CNR di Milano. Altre strutture di Informatica in Sanità proliferarono presso diversi istituti e dipartimenti del CNR (IRPPS, ecc.) con molte iniziative scientifiche (es. APIM, ecc.) e tante pubblicazioni su riviste internazionali ed italiane (es, Medicina e Informatica de Il Pensiero Scientifico Editore, ecc.).

Sempre negli anni '90 viene varato dal Governo un vasto programma nazionale (TELEMED) da parte del Ministero dell'Università e Ricerca Scientifica che ha visto la partecipazione di molti ricercatori e centri del CNR e che ha segnato una svolta ed un'accelerazione nello sviluppo di sistemi e servizi di telemedicina in Italia.

In questi anni del nuovo secolo e millennio, il CNR ha dato e da molteplici contributi sia allo sviluppo che alle linee guida per l'uso della telemedicina a livello diffuso. Dai sistemi informativi ospedalieri e sanitari locali e regionali, al fascicolo sanitario elettronico, alla sensoristica biomedica, alla telemedicina, biorobotica riabilitativa, bioinformatica, neuroinformatica, intelligenza artificiale in medicina, ecc.

Un tavolo tecnico sulla telemedicina è stato istituito in seno al Consiglio Superiore di Sanità con l'obiettivo di "predisporre linee guida nazionali di riferimento, partendo dalle best practices e cercando di mettere a sistema in tutta Italia questo strumento di assistenza" (Gruppo di lavoro coordinato, circa 20 anni fa, coordinato da Maria Carla Gilardi, dell'Istituto di Bioimmagini e fisiologia molecolare del CNR, per mettere a punto, in condivisione con le Regioni, delle linee guida gestionali-organizzative sulla telemedicina, per cercare di passare da una fase sperimentale a quella attuativa di servizi di telemedicina). Nonostante ciò siamo arrivati un po' impreparati al momento dell'emergenza sanitaria dovuta al Covid 19 nella primavera del 2020, forse perché i sistemi di telemedicina non erano stati messi a terra negli anni precedenti come rete di nuovi servizi sanitari per mancanza di interoperabilità tecnologica, forse anche per i diversi modelli organizzativi regionali della sanità italiana senza coordinamenti nazionale (anche troppo ospedale-centrica con una forte sottodimensione della medicina territoriale. E solo nel dicembre del 2020, in piena pandemia, sono state varate delle norme più stringenti sui sistemi e servizi di telemedicina, dalla televisita alla telerefertazione, dal teleconsulto al telemonitoraggio, ecc.

L'emergenza pandemica ha imposto una forte accelerazione alla digitalizzazione delle attività meno manuali (anche se queste possono essere oggetto indirettamente di

digitalizzazione intermediata da sensori, device e i sistemi robotici, ormai fortemente presenti in molti campi economici, industriali e sociali come i comparti dei mass media, della scuola e della sanità con lavori in smart working, e-learning e di telemedicina.

In questo nuovo scenario di oggi di società e sanità digitalizzate, con in più i nuovi sistemi informatici intelligenti ovvero con tools in grado di elaborare big data con strumenti di intelligenza artificiale, machine learning, ecc., molti centri di ricerca e innovazione (universitari, industriali, ecc.) si sono spinti maggiormente nello sviluppo di sistemi di Digital Health e di Telemedicina. Anche il CNR, con i vari suoi Istituti, Dipartimenti e Unità Operative, ha sviluppato ricerche, prototipi ed anche prodotti e servizi nuovi nel vasto campo della Sanità. Tra le altre strutture possiamo accennare ad alcune con qualche relativo progetto e ambito di applicazione:

- Istituto di Tecnologie Biomediche (ITB), CNR di Segrate-Milano, attivo in Bioinformatica, Epidemiologia ed Informatica Sanitaria, con lo sviluppo ad es. del prototipo TeMoCo 19, un sistema di telemedicina per il monitoraggio e l'assistenza sanitaria, anche domiciliare, di soggetti a rischio o colpiti dal Coronavirus o affetti da patologie croniche, come molti anziani e disabili.
- Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (CNR-ISTC), con sviluppo di applicazioni per pazienti colpiti da sordità.
- Laboratorio Virtuale della Sanità Elettronica (LAVSE) per la cooperazione tra i diversi Istituti del CNR in nell'ambito di modelli organizzativi e digitali, con ricadute operative nel settore socio-sanitario.
- Istituto di calcolo e reti ad alte prestazioni (CNR-ICAR), presente in molte città del mezzogiorno, con varie partecipazioni allo sviluppo del Fascicolo Sanitario Elettronico – FSE e di sistemi di telemedicina (es. progetto UniWebPancreas, una piattaforma web per il follow up ed il monitoraggio di pazienti con tumore al pancreas, in collaborazione con l'Istituto di informatica e telematica (IIT) del CNR di Pisa).
- Istituto di informatica e telematica (CNR-IIT): sviluppo di metodologie basate con algoritmi di intelligenza artificiale (es. previsione di recidive di tumore alla prostata). Finanziato dalla regione Toscana, è stato sviluppato il progetto di OLIMPIA per l'uso di sensori indossabili per l'analisi del movimento, contribuendo ad individuare e supportare soggetti con malattia di Parkinson (anche con prove di automonitoraggio a casa, grazie ad un kit sensorizzato sviluppato, con invio delle rilevazioni motorie al centro neurologico). Sono anche stati sperimentati nuovi dispositivi di telemedicina basati su sistemi intelligenti di acquisizione/trasmisione di dati e supporto alla decisione clinica mediante metodologie di machine learning, nell'ambito di interventi riabilitativi di pazienti cronici, fragili, disabili e anziani.

Un altro progetto CNR di teleconsulto specialistico è stato condotto nell'ambito dell'accordo tra l'AORN Pediatrica Santobono-Pausilipon e l'ASP di Potenza per la creazione di una rete interregionale per le cure palliative. Tale progetto è tra le tre esperienze nazionali più valide selezionate dall'Agenzia Nazionale per i Servizi Sanitari Regionali (Agenas).

Infine, ricordiamo che diversi Istituti del CNR (ICAR, IBB, IMM e IBP) sono stati coinvolti nel progetto eHealthNet un Ecosistema software per la Sanità Elettronica, costituito da modelli, servizi e strumenti per l'implementazione di applicazioni di supporto alla diagnosi, terapia e follow-up, nonché per la gestione innovativa dei processi sanitari, garantendo interoperabilità, sicurezza, privacy e confidenzialità.

I ricercatori ed i tecnici del CNR che si interessano dello sviluppo e di applicazioni di tecnologie digitali in sanità, da sempre, oltre a svolgere attività di ricerca ed innovazione con progetti italiani, europei ed internazionali, contribuiscono alla spiegazione e diffusione di queste discipline, l'informatica medica, la telemedicina e l'e-health, con articoli, libri, corsi, master, seminari e convegni. Oltre a promuovere in questi settori diversi eventi scientifici, il CNR supporta e sponsorizza iniziative delle associazioni e di altri enti interessati. (Il CNR, assieme all'Università di Milano Bicocca, ha tenuto a battesimo nel 1999 a Milano la costituzione di @itim (Associazione Italiana di Telemedicina ed Informatica Medica).

Qui di seguito alcuni libri di cui sono autori ricercatori del CNR o di cui il CNR ne è editore:

- Il Medico on line; Manuale di Informatica Medica; R. Maceratini, F. Ricci (a cura), Verduci Editore.
- Neurologo ed Internet: Manuale Di Accesso; G. Comi, R. Bassi, M. Ciulla, F. D'alpa, F. Sicurello (a cura). Springer Verlag ed. 2001.
- Dall'informatica medica alla sanità elettronica: lezioni dal passato e prospettive per il futuro; Domenico M. Pisanelli, Francesco Sicurello, Fabrizio Ricci (a cura). IRPPS-CNR Publications, 2012.
- Telemedicina es Informatica Medica: le nuove tecnologie per la salute;a cura di Mario Ciampi, Giuseppe De Pietro, Domenico M. Pisanelli, Francesco Sicurello CNR-SeGID, Collana Documentalia, 2013.
- I progetti informatici per la salute in un numero speciale della rivista Smart eLab del'IC-Cnr (a cura di Fabrizio Clemente).

Bibliografia

- [1] Castelnovo Gianluca, Giada Pietrabissa, Gian Mauro Manzoni, Francesco Sicurello, Enrico Molinari; Boosting remote monitoring using pulse oximeters to help Italian health care system in managing COVID-19 patients. *BMJ* March 2020;368:m1065.
- [2] Murgia, Fabrizio; Tagliente, Irene; Zoppis, Italo; Mauri, Giancarlo; Sicurello, Francesco; Bella, Francesco; Mercuri, Vanessa; Santoro, Eugenio; Castelnovo, Gianluca; Bella, Sergio; Trend of FEV1 in Cystic Fibrosis patients: A telehomecare experience. *PubliCatt* 2016.
- [3] Eugenio Santoro, Gianluca Castelnovo, Italo Zoppis, Giancarlo Mauri, Francesco Sicurello; Social media and mobile applications in chronic disease prevention and management: *Frontiers in Psychology*, section Psychology for Clinical Settings, 2015.
- [4] Gianluca Castelnovo, Italo Zoppis, Eugenio Santoro, Martina Ceccarini, Giada Pietrabissa, Gian Mauro Manzoni, Stefania Corti, Maria Borrello, Emanuele Maria Giusti, Roberto Cattivelli, Anna Melesi, Giancarlo Mauri, Enrico Molinari, Francesco Sicurello; Managing chronic pathologies with a stepped mHealth-based approach in clinical psychology and medicine; *Frontiers in Psychology* 2015.
- [5] Francesco Sicurello; Developments of Medical Informatics and Telemedicine in the Global Society; IMIT (International Medical Informatics and Telemedicine) Conference, Geneva 2014.
- [6] Forlani E, De Lazzari C, Maiolino P, Poli A, Pugliese A, Rabbito C, Sicurello F.; The first veterinary telemedicine study group. *J Telemed Telecare*. 2010;16(3):162-3.
- [7] F. Sicurello; Towards e-Cooperation and e-Inclusion between countries by health networks and Telemedicine, Special Track MIE Conference, Sarajevo, August 30 2009.
- [8] F.Sicurello; Euro Mediterranean Medical Informatics and Telemedicine: e-Health for Mediterranean Countries, Fourth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS 2009) Cairo, Egypt 2009.
- [9] Essam Ayad, Francesco Sicurello; Telepathology Telepathology in emerging countries pilot project between Italy and Egypt; *Diagnostic Pathology* 2008, 3 (Suppl 1)..
- [10] F. Sicurello, A. Donzelli, G. Mauri, Neuroweb: web 2.0 technology based web portal for sharing clinical and genomic data in neuroscience, *HC Conference Harrogate UK* 2008.
- [11] Francesco Sicurello, Gianni Pellicanò, Roberto Cattaneo, INTERHOSPITAL: Teleconsulting Network between Hospitals, *HC Conference, Harrogate UK*, 2007.

- [12] Francesco Sicurello, Eugenio Parati, Giancarlo Mauri NEUROWEB: A web based system for Cerebrovascular diseases HC Conference, Harrogate UK, 2007.
- [13] F. Sicurello, F.Graffi, G. Mauri, INTRAMED: Medical Network in International cooperation of Italy, 11th ISFTEH International Conference in Telemedicine and e-Health, Cape Town, November 2006
- [14] L. Stoicu-Tivadar, F. Sicurello, V.. Stoicu-Tivadar, V. Moga, M. Moga, G. Pellicanò, G. Ronco, Telecommunications as a step towards hospitals interoperability, Proceed of MIE 2006 (Medical Informatics Europe), Maastricht 2006
- [15] F. Sicurello, Health Informatics and Telecare in Italy, in "Helthcare IT Management IT", Vol. 1, n.2 2006.
- [16] F. Sicurello; Health Informatics and Telecare in Italy, in "Helthcare IT Management", Vol. 1, n.2 summer 2006.
- [17] F. Sicurello, Web Portal in neurosciences and GRID Technology (POSTER), HealtGrid Workshop, Lyon, 2005..
- [18] F. Sicurello; Monitoraggio in casa e Telemedicina, in ASSISTIVE TECHNOLOGY, Maggioli Editore, 2005
- [19] Corrao S, Arnone S, Sicurello F.; The health technology assessment. *Recenti Prog Med.* 2004 Nov;95(11):529-34.
- [20] F. Sicurello, Telemedicine and e-health in mediterranean countries, IFMBE Proceedings "Medicon and Health Telematics 2004" - Ischia (NA) 2004
- [21] F. Sicurello; Teleassistenza e Telesoccorso agli Anziani: Ruolo delle Regioni e delle Aziende Sanitarie Locali Ospedaliere, *Il Sole* 24 ore, 18 febbraio 2003.
- [22] Sicurello F, Simon P, Magretti P, Medgyesi A.; The goals and the perspectives of the common research and development work: the Italian-Hungarian bilateral programme. *Stud Health Technol Inform.* 2002; 90:143-7.
- [23] F. Sicurello, M. Villa, M. Terni, e-Care: Medical Expert System for Continuity of Care and Healthy Lifestyle, Telemedicine in care delivery Symposium CNR Pisa, 2002.
- [24] F. Sicurello; Le carte sanitarie elettroniche; in *Scienza & Business*, anno III, n. 1-2 2001, Interscience Press.
- [25] F. Sicurello; Smart card per l'Alzheimer in Lombardia, in *Tecnica Ospedaliera*, anno 31°, n. 2 febbraio 2001, Tecniche Nuove Ed.
- [26] F. Sicurello; Sviluppo di una carta sanitaria ibrida per i pazienti dell'Istituto Nazionale Neurologico C. Besta di Milano, in *De Sanitate*, anno II gennaio-febbraio 2000,

- [27] F. Sicurello, E. Parati, R. Miuccio, M. Carriero, G. Boncoraglio, Advanced software for clinical database management in patients with cerebrovascular disease. International Congress MIE2000, Medical Informatics Europe, Hannover 2000.
- [28] R. Maceratini, F. Sicurello: Minimum basic data set for health cards, Proceedings of 5th International Congress Health Cards '99, Milan 1999.
- [29] M. Panfilo, P. Rota Sperti, F. Sicurello, P. Spadin, D. Villani; Chip card based experimentation for Alzheimer patients, Proceedings of Congress Health Cards '99, Milan october, 5-7 1999.
- [30] F. Sicurello; Con il Bancomat sanitario un taglio netto agli errori, Corriere Medico (4 marzo 1999).
- [31] F. Sicurello, A. Nicolosi, M. Villa, M. Agrelli: Telematic networking for linkage of epidemiological database, (Proceed. of the ninth conference in Medical Informatics MEDINFO' 98, IOS Press.
- [32] F. Sicurello, A. Nicolosi: Telematics and smart cards in integrated health information system, Medical Informatics Europe, Proc. MIE'97 Conference, Pappas et al (Edt) IOS Press 1997.
- [33] F. Sicurello, M. Muollo: A Clinical Record in an Integrated Hospital Information System. Proceed. 12° International Health Record Congress MMV Medizin Verlag, Munchen 1996.
- [34] F. Sicurello, M. R. Marchetti, P. Cazzaniga: A relational database in neurosurgery, Proceed. Medinfo '95, Vancouver 1995.
- [35] M. Fiore, F. Sicurello, G. Indorato: An integrated system to represent and manage medical knowledge, Proceed. Medinfo '95, Vancouver 1995.
- [36] F. Sicurello : Regional Review: Italian Condition, Health Cards 95, Eds. C.O. Kohler, O. Rienhoff, O.P. Schaeffer, IOS Press, 1995 (pp. 14-18).
- [37] V. Capasso, F. Sicurello, M. Villa: Mathematical models for HIV transmission in groups of injecting drug users via shared drug equipment, Journal of Biological Systems, vol 3, n. 3 (747-758). World Scientific Publishing Company 1995.
- [38] Progetto di un database multimediale per la Sclerosi Multipla; - M. Fiore, F. Sicurello, G. C. Comi, P. Rossi, E. Bove, in Rivista di Neurobiologia, 40 (5/6), 517-522,1994.
- [39] M. Grassi, A. Nicolosi, F. Sicurello, A.R. Osella: Program for the management and statistical analysis of epidemiological data on HIV infection, Proceed. of the Twelfth

International Congress of the European federation for Medical Informatics - MIE '94, Lisbon 1994, ed. by P. Barahona, M. Veloso and J. Bryant.

- [40] M. Fiore, F. Sicurello, M. Viganò, N. Gianotti, R. Pizzi, S. Bandini: PES: a frame-based system to classify lung diseases in AIDS, Proceed. of the Twelfth International Congress of the European federation for Medical Informatics - MIE '94, Lisbon 1994, ed. by P. Barahona, M. Veloso and J. Bryant.
- [41] V. Capasso, F. Sicurello, M. Villa, A. Nicolosi: Computational aspects of modelling of HIV infection among drug users, Proceedings of COMPSTAT 1994.
- [42] I. Bruce Blum, F. Sicurello: "OCIS: Sistema Informativo Clinico Oncologico", in *Medicina e Informatica*, Il Pensiero Scientifico Editore, n. 1, 3-10, 1993.
- [43] F. Sicurello, Database e Sistemi Informativi Clinici, in *Rivista di Neurobiologia*, Editrice Il Ventaglio, 39 (3), 309-317, 1993.
- [44] F. Sicurello; La Telemedicina in Epidemiologia, in: *La Telemedicina in Italia. Scenari ed ipotesi di sviluppo*, Masson Ed., 1993.
- [45] F. Sicurello: Towards Standardized and Integrated Medical Records, Proceed. of the Fifth Global Congress on Patient Cards and Computerization of Health Records, Venice 1993, ed. by C. Peter Waegemann, Medical Record Institute.
- [46] M. Fiore, F. Sicurello, M. Viganò et al: a Knowledge- based system to classify and diagnose HIV-Pneumonias, proceed. AIME '93, Munich 1993, S. Andreasen and al (Eds.), IOS Press, 1993.
- [47] F. Sicurello: MUMPS, SQL and PROLOG. A Software and Knowledge Engineering System, Proceed. of the Seventeenth Annual Meeting of the MUMPS Users' Group-Europe, Vienna 1992, J. S. Duisterhout, P. J. Branger eds.
- [48] F. Sicurello, R. Maceratini, A. Nicolosi: Integrated Medical Record System, Fourth Global Congress on Patient Cards and Computerization of Health Records, Berlin, 1991, ed. C. O Kohler, Heidelberg.
- [49] F. Sicurello, M. Villa, A. D'Arminio Monforte, T. Formenti, M. Moroni, A. Nicolosi, A. Saracco: An integrated system to support the AIDS research, Proceed of Medical Informatics Europe 1991, Vienna August 1991, Springer-Verlag ed.
- [50] F. Sicurello, Some aspects on telemedicine and health Network, Proceeding International Conference "ISPA 2001", Special Session on Telemedicine and Multimedia Information, Pula June 2001.
- [51] F. Sicurello, Smart cards and telemedicine, Proceed. International Conference Smart Cards and the Background Systems, Budapest 28-29 June 2001.

- [52] F. Sicurello, S. Taioli: A MUMPS-PROLOG tool to manage data and knowledge bases. *Proceed. AIME '89*, London, 1989.
- [53] A. Nicolosi, A. Attolini, P. Varesco, F. Sicurello, R. Pizzi, G. Degli Antoni: An integrated workstation for research in the Acquired Immunodeficiency Syndrome, *Proceed. of the sixth conference in Medical Informatics MEDINFO' 89*, Singapore 1989, North-Holland ed.
- [54] F. Sicurello: Clinical Record Management and MUMPS, *Journal of Clinical Computing* vol. XVII, number 4, 1989, E. R. Gabrieli ed.
- [55] F. Sicurello, M. Villa: Using SPSS in medical field, *Proceed. ASSESS-SPSS European Users' Group*, Amsterdam, ed. by G.J. Stemandink, Computing Centre, Agricultural University Drefjenplein, 2 6703 HB Wageningen, The Netherlands, 1988.
- [56] A. Nicolosi, F. Sicurello, A. Fornara, M. Villa: Record-Linkage in Health Informations System: Experimentation in a Italian Local Health District (*Proceed. of the seventh international congress MIE '87 Medical Informatics Europe*, Rome 1987).
- [57] F. Sicurello, E. Rigamonti, G. Cairo, P. Mussio: An Automatic Support System for Acute Renal Failure (*Proceed. of the seventh international congress MIE' 87 - Medical Informatics Europe - Rome 1987*).
- [58] F. Sicurello, G. Giambelli: A MUMPS Software for the automation of Hospital Clinical Records (*Proceed of the Eleventh Annual Meeting of the MUMPS Users' Group-Europe Barcelona 1986 - B. Franken, W. Kirsten, A. Puig (eds) VU Utgeverij, Free University Press Amsterdam 1986*).
- [59] F. Sicurello, A. Andreani, *Dal piano di sorveglianza della salute a Seveso alla gestione dell'USL*, Agorà 2000, Dedalo Ed. Febbraio 1985, n. 2, pp. 22-30.
- [60] F. Sicurello; *Classificazione Automatica per individuare gruppi a rischio* F. Sicurello, in *Agorà 2000*, maggio 1984, n. 5, pp. 35-40.
- [61] G. Assennato, F. Merlo, F. Sicurello, E. Ghioldi, P. Cannatelli, I. Ghezzi, P.A. Bertazzi, C. Zocchetti: Mortality study of workers employed at the ICMESSA plant in Seveso, *XXI International Congress on Occupational Health*, 1984 Dublin, I.E. Eustace ed.
- [62] Ghezzi I, Cannatelli P, Assennato G, Merlo F, Mocarelli P, Brambilla P, Sicurello F.; Potential 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin exposure of Seveso decontamination workers: a controlled prospective study. *Scand J Work Environ Health*. 1982;8 Suppl 1:176-9.