

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea Triennale in Informatica

HEALTHCARE FOR ANYONE, ANYWHERE, ANYTIME

Tesi di Laurea in Architettura degli Elaboratori

Relatore:
Chiar.mo Prof.
VITTORIO GHINI

Presentata da:
PATRIZIA PETRINI

Sessione I
Anno Accademico 2012/2013

Indice

Elenco delle figure	iii
Introduzione	1
Sommaro	2
1 Assistenza sanitaria	5
1.1 Cause della necessaria evoluzione dell'assistenza sanitaria . . .	5
1.1.1 Malattie croniche	6
1.1.2 Cambiamento demografico	7
1.1.3 Accesso alla tecnologia mobile	9
1.2 Iniziative del Ministero della Salute	10
1.2.1 Iniziative Europee	15
1.3 Paesi a basso e medio reddito	16
1.3.1 Iniziative nei Paesi a basso e medio reddito	18
2 Mobile Health	21
2.1 Monitoraggio onnipresente	22
2.2 Context-Aware Sensing	25
2.3 Modello globale	27
3 Reti di sensori wireless	31
3.1 Hardware	33
3.1.1 Sensori	34
3.1.2 Attuatori	39

3.1.3	Smartphone	44
3.2	Architettura	45
3.2.1	Comunicazioni intra-body	46
3.2.2	Comunicazioni extra-body	48
3.3	Protocolli di rete	49
3.3.1	Bluetooth	49
3.3.2	Bluetooth 4.0: Low Energy	51
3.3.3	ZigBee	53
3.4	Software a bordo sensore	56
3.4.1	TinyOS	56
4	Software e sviluppi	59
	Conclusioni	67
	Bibliografia	73
	Ringraziamenti	79

Elenco delle figure

1.1	Grafico dell'evoluzione del numero di abbonati alla telefonia	9
1.2	Percorsi assistenziali previsti per il cittadino	12
1.3	Dalla povertà alle malattie croniche	17
1.4	Statistica sulle tecnologie sanitarie nei paesi in via di sviluppo	19
2.1	Holter Monitor: strumento di registrazione cardiaca per 24 ore	23
2.2	Rappresentazione del sistema da utilizzare	27
3.1	Rappresentazione di una BSN	32
3.2	Rappresentazione dei nodi sensore	33
3.3	Tabella nodi sensore	37
3.4	Alcuni nodi sensore	37
3.5	e-textile, tessuto con sensori integrati	38
3.6	Defibrillatore impiantabile	40
3.7	Microinfusore	41
3.8	Neuro-stimolatori	42
3.9	Gastro-stimolatore	43
3.10	Suddivisione architettura intra-body e extra-body	46
3.11	Topologie utilizzabili in una BSN	47
3.12	Tabella comparativa protocolli di rete	55
4.1	Flusso delle comunicazioni nel sistema proposto	60
4.2	Procedura di lavoro di Sana	63
4.3	Borboleta e SaguSaude	65

Introduzione

Gli sviluppi in campo scientifico e nella medicina sono fortemente collegati. L'innovazione tecnologica ci aiuta a rendere più semplici le operazioni che potrebbero essere complesse, riuscendo a dare un grande aiuto in qualsiasi campo.

In questo lavoro si approfondirà il contributo che può dare l'innovazione all'assistenza sanitaria, con lo scopo di riuscire a fornire un'assistenza sanitaria in qualsiasi luogo, in qualsiasi momento, a chiunque.

Per fare questo ci si basa sull'mHealth e quindi sull'interazione tra la medicina e i dispositivi mobili.

E' quindi scopo della tesi riuscire a fornire assistenza sanitaria:

ovunque per riuscirci il sistema che studieremo dovrà comprendere tecnologie mobili e apparecchiature mediche che sarebbe utile riuscire ad integrare con sistemi radio.

Questa caratteristica è fondamentale, perché con il suo raggiungimento le altre caratteristiche vengono praticamente soddisfatte.

in qualsiasi momento dare la possibilità di disporre di una connessione in qualsiasi luogo ed in qualsiasi momento.

Per riuscirci si predetermina l'utilizzo di un dispositivo equipaggiato di più interfacce wireless, dove viene adottato il modello "Always Best Packet Switching" (ABPS)[1] che permette alle applicazioni di utilizzare simultaneamente tutte le interfacce disponibili, introducendo nuove funzionalità e politiche sia per il bilanciamento del carico che per il controllo della comunicazione.

a chiunque per ottenere una assistenza sanitaria disponibile a chiunque bisogna prevedere l'utilizzo di tecnologie a basso costo e con un'alta usabilità, essendo un sistema che dovrà relazionarsi con una grande molteplicità di utenti, dai tecnici ai paziente ai medici.

Con il raggiungimento di questi scopi questo sistema sarà in grado di rivoluzionare l'assistenza sanitaria nel mondo.

Sommario

Il testo sarà sviluppato in quattro capitoli principali così strutturati:

- nel Capitolo 1 verranno approfondite le cause del necessario sviluppo dell'assistenza sanitaria e illustrati i campi in cui questa evoluzione può dare immediati frutti. Verranno elencate le iniziative in atto in Italia ed in Europa per l'informatizzazione dei dati sanitari, che faranno "da sfondo" ai sistemi per l'assistenza sanitaria in mobilità. Verrà affrontato nello specifico, essendo un argomento molto importante, l'mHealth nei paesi a basso e medio reddito per analizzare se questa nuova tecnologia può essere sfruttata per fornire assistenza sanitaria in luoghi ed a persone che fino ad oggi non sono raggiunte dal servizio sanitario;
- nel Capitolo 2 verrà introdotto il concetto di "monitoraggio onnipresente" e l'importanza della progettazione di sistemi context-aware. Analizzeremo i vantaggi di un sistema di "monitoraggio onnipresente" per le persone affette da malattie croniche, che rappresentano un vero problema per la sanità al giorno d'oggi;
- nel Capitolo 3 verranno introdotte le Body Sensor Network e analizzati i vantaggi che producono. Si analizzeranno le tecnologie abilitanti: sensori, attuatori e smartphone. Forniremo anche una panoramica sull'architettura, sui protocolli di rete e sui software per le BSN;

INTRODUZIONE

- nel Capitolo 4 si illustrerà il software necessario per la raccolta, la memorizzazione, l'analisi dei dati e il post-processing. Commentando dei software esistenti ed utilizzabili per il raggiungimento dello scopo.

Capitolo 1

Assistenza sanitaria

Il ruolo della tecnologia, nel tentativo di spostare il monitoraggio e la cura quotidiana di un paziente dall'ambiente ospedaliero a quello domestico, è fondamentale.

La sfida è quella di poter monitorare parametri fisici e biochimici in qualsiasi luogo, in modo continuo. Ottenere un sistema in grado di fare questo non è solo una "comodità" ma è una necessità che si riscontra analizzando i bisogni dei cittadini e dello stato.

L'intervento della tecnologia, inserita in più modalità nella sanità, permette di ridurre notevolmente i costi aumentando i benefici dei cittadini.

1.1 Cause della necessaria evoluzione dell'assistenza sanitaria

L'assistenza sanitaria ha la necessità di incorporare nelle sue pratiche la tecnologia. Questo perché il cambiamento demografico, caratterizzato da un invecchiamento globale della popolazione, grava fortemente sul sistema sanitario di ogni paese del mondo, rendendone i costi insostenibili.

Si riscontra anche un aumento delle malattie croniche, che causano l'incremento delle persone che hanno continuo bisogno di assistenza sanitaria. Questo porta una crescita dei costi per lo stato e, non meno importante, un grande

impatto nella vita del paziente e nella famiglia.

Queste malattie sono molto invasive e sarebbe importante riuscire a migliorare lo stile di vita dei malati cronici.

Andremo ora ad analizzare le maggiori cause della necessaria "rivoluzione" dell'assistenza sanitaria.

1.1.1 Malattie croniche

Con il termine "malattia cronica" si intende una malattia che persiste per un periodo di tempo prolungato, che non ha sostanziali prospettive di guarigione e che altera le funzioni fisiche, emotive, intellettuali, sociale o spirituali. Essa può inoltre determinare inabilità parziale o completa.

La malattia cronica richiede cure e competenze particolari, rapporti stretti e continui con le strutture sanitarie ed ha grande rilievo sulla vita sociale del paziente e della sua famiglia, sui suoi progetti e sulle sue aspirazioni. Il paziente cronico a differenza di altri, è affetto da una malattia da cui non può guarire ma si riesce a mantenere in buone condizioni di salute solo grazie a continui interventi e attraverso ripetuti ricoveri in ospedale.

Negli ultimi anni l'aumento del numero dei malati cronici sta creando un'emergenza per i sistemi sanitari, questo tipo di malattie sono oramai tra le cause più diffuse di sofferenza e morte. Non è un problema per "ricchi"; negli ultimi vent'anni infatti le malattie croniche si sono diffuse anche nei Paesi più poveri e oggi sono responsabili dell'86% dei decessi in tutta Europa[11]. I paesi più poveri sono i più colpiti. Soltanto il 20% delle morti per malattie croniche avviene nei paesi ad alto reddito, mentre l'80% si registra nei paesi a reddito medio-basso.

Tra le malattie croniche ci sono cardiopatie, ictus, cancro, disturbi respiratori cronici e diabete. Disturbi visivi e cecità, disturbi dell'apparato uditivo e sordità, problemi del cavo orale e difetti genetici sono altre condizioni croniche responsabili di una percentuale consistente del carico globale di malattia.

1.1 Cause della necessaria evoluzione dell'assistenza sanitaria

Il carico delle malattie croniche ha notevoli effetti negativi sulla qualità della vita delle persone colpite, provoca morti premature e crea gravi effetti economici negativi su famiglie, comunità e sulla società in generale.

Grazie ai progressi nel controllo delle malattie infettive, le grandi epidemie dei prossimi anni difficilmente ricorderanno quelle che hanno flagellato il mondo in passato. I rischi di una pandemia influenzale, ad esempio, richiederanno una vigilanza costante. Tuttavia, saranno le epidemie di cardiopatie, ictus, tumori e altre malattie croniche a richiedere il più alto tributo in termini di morte e invalidità nell'immediato futuro. E' fondamentale riconoscere, comprendere e contrastare rapidamente la diffusione incombente delle malattie croniche.

1.1.2 Cambiamento demografico

Grazie agli sviluppi in campo medico e ad una coscienza più alta della propria salute, si allungano le aspettative di vita. L'invecchiamento della popolazione (il numero di persone anziane rispetto alla popolazione globale) deriva dai progressi notevoli realizzati nei settori economico, sociale e sanitario in termini di servizi offerti alla popolazione.

Nel 2030 l'80% delle persone arriverà a 80 anni di età, ma meno del 40% del totale arriverà a questa età in completa salute e autonomia. Questa previsione rende necessaria una verifica delle scelte di politica sanitaria dei paesi. Gli anziani con malattie croniche e degenerative non sono considerate un punto di riferimento, ma persone da accudire.

L'invecchiamento della popolazione risulta da varie tendenze demografiche simultanee[15]:

persistere della bassa natalità le generazioni del "baby boom" [60] hanno avuto meno figli rispetto alle precedenti. Il tasso di fecondità è quasi ovunque inferiore alla soglia del ricambio generazionale. Il numero medio di figli per donna è pari a 1,5 nell'UE, mentre la soglia di rinnovamento delle generazioni è pari a 2,1. L'UE prevede un tasso dell'1,6 per il 2030.

La diminuzione della natalità, "baby crash", ha fatto seguito al "baby boom" che è stato all'origine del forte contingente di persone di 45-65 anni presente nella popolazione europea;

aumento degli over 60 la crescita della popolazione di età superiore a 60 anni si avverterà fino al 2030 circa, quando i bambini del "baby boom" saranno invecchiati;

allungamento della vita media il progressivo allungamento della vita media e' il risultato dei considerevoli progressi fatti nell'ambito della salute e della qualità di vita di cui beneficiano i cittadini europei. La speranza di vita in buona salute è in continua crescita e il divario tra la speranza di vita degli uomini e delle donne tende ad attenuarsi.

Nella stessa famiglia si possono ormai trovare quattro generazioni, anche se a causa della maggiore mobilità, non vivono più necessariamente insieme come un tempo. La speranza di vita, è aumentata di 8 anni dal 1960 al 2006, potrebbe continuare a crescere di altri 5 anni tra il 2006 e il 2050 e, in tal caso, ciò determinerebbe una maggiore porzione di persone di età compresa fra 80 e 90 anni, persone che spesso sono in una situazione di fragilità;

immigrazione ci sono stati 1,8 milioni di immigrati nell'UE nel 2004, 40 milioni sono previsti nel 2050 secondo le proiezioni di Eurostat. Con queste previsioni l'immigrazione è un aspetto che può compensare la ridotta natalità dell'UE.

Queste tendenze avranno l'effetto di ridurre leggermente la popolazione totale dell'UE che diventerà al tempo stesso molto più anziana. Il numero di persone in età lavorativa (da 15 a 64 anni) nell'UE diminuirà di 48 milioni tra il 2006 e il 2050.

Il cambiamento demografico sarà accompagnato da mutamenti sociali profondi: nella previdenza sociale, negli alloggi e nel lavoro, in tutti i paesi chiamati a far fronte alla sfida dell'invecchiamento della popolazione.

1.1 Cause della necessaria evoluzione dell'assistenza sanitaria

1.1.3 Accesso alla tecnologia mobile

I telefoni cellulari hanno fatto un ingresso recente e rapido in molte parti del mondo anche nei paesi a basso e medio reddito. Si riscontra infatti un drastico aumento nel corso dell'ultimo decennio del "tasso di penetrazione della telefonia mobile".

Il miglioramento delle infrastrutture, la riduzione dei costi dei telefoni cellulari e un aumento generale delle spese "no-food" hanno influenzato questa tendenza.

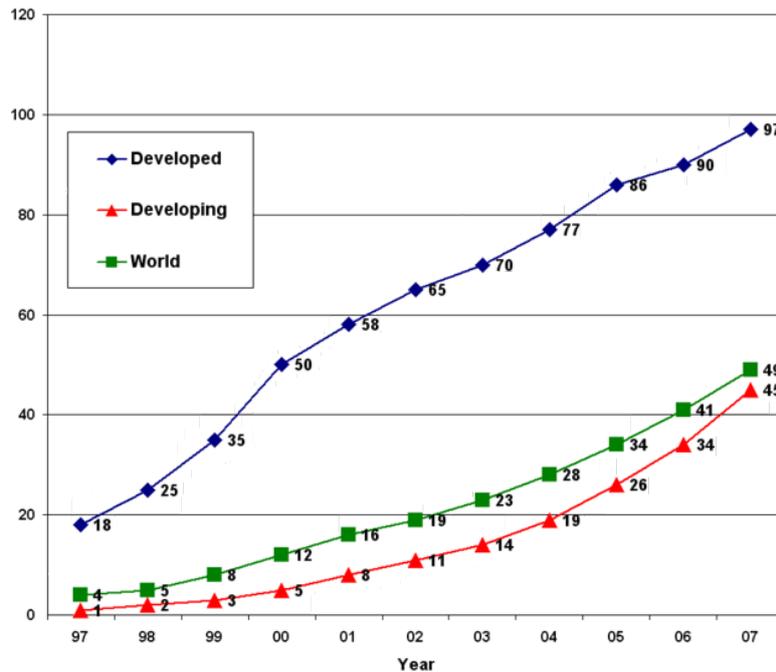


Figura 1.1: Abbonati alla telefonia mobile ogni 100 abitanti 1997-2007

I telefoni cellulari hanno consentito a molti paesi in via di sviluppo, anche quelli con un'infrastruttura relativamente povera, di bypassare il XX secolo della tecnologia a rete fissa e saltare alla moderna tecnologia mobile.

In molti paesi, il numero di abbonati alla telefonia mobile ha aggirato il numero di telefoni di rete fissa, questo è particolarmente vero nei paesi in via

di sviluppo. A livello globale, ci sono stati 4,1 miliardi di telefoni cellulari in uso nel dicembre 2008.

Di base gli SMS e la comunicazione a voce è l'uso attuale più comune della telefonia mobile. L'ampia gamma di vantaggi potenziali per il settore sanitario, che le semplici funzioni dei telefoni cellulari sono in grado di fornire, non deve essere sottovalutato.

L'idea è quella di consentire la comunicazione in movimento, permettendo ai singoli il contatto tra di loro a prescindere dal tempo e dal luogo. Ciò è particolarmente vantaggioso per il lavoro in aree remote, dove il telefono cellulare, sempre più anche le infrastrutture wireless, sono in grado di raggiungere le persone più velocemente.

Tecnologie mobili più avanzate, come gli smartphone, stanno fornendo il potenziale per un'ulteriore crescita dell'assistenza sanitaria. Gli smartphone sono nelle mani di un gran numero di medici e altri operatori sanitari nei paesi a basso e medio reddito. Anche se lontano dalla onnipresente, la diffusione di nuove tecnologie apre le porte ai progetti mHealth.

Mentre l'adozione di tecnologie come gli smartphone nel personale medico è cresciuta, vale la pena notare che le capacità dei telefoni cellulari non ha raggiunto la raffinatezza di quelli in paesi ad alto reddito. L'infrastruttura che permette la navigazione web, navigazione GPS, e-mail non è così ben sviluppata in gran parte dei paesi a basso e medio reddito.

Una maggiore disponibilità ed efficienza dei sistemi voce e trasferimento dati, oltre ad un rapido sviluppo delle infrastrutture wireless, sarebbe una grande spinta alla diffusione dei sistemi sanitari mobili e dei servizi in tutto il mondo.

1.2 Iniziative del Ministero della Salute

Il Ministero della salute ha intrapreso dei progetti per l'utilizzo di strumenti basati sulle tecnologie di informazione e comunicazione. Questi progetti hanno lo scopo di riuscire a sostenere e promuovere la prevenzione, la

1.2 Iniziative del Ministero della Salute

diagnosi, il trattamento e il monitoraggio delle malattie[2].

Secondo il Ministero della Salute le iniziative eHealth miglioreranno l'accesso alle cure, ponendo il cittadino al centro dei sistemi sanitari, contribuendo ad accrescere l'efficienza generale e la sostenibilità del settore sanitario.

L'evoluzione socio-demografica della popolazione, la necessità di bilanciare le risorse disponibili ed aumentare la qualità dell'assistenza sanitaria prestata, sono lo stimolo principale che ha spinto il Ministero della Salute alla definizione di nuove modalità di erogazione dei servizi sanitari.

Lo scopo sostanziale è quello di tracciare il percorso del paziente sin dal primo momento di interazione con la rete di assistenza sanitaria. Ciò sarà possibile con lo sviluppo di un sistema di servizi integrati che consentirà, in tempo reale, il controllo e la valutazione sistematica di parametri quali il rischio clinico, le procedure diagnostiche e terapeutiche.

Questo sistema di servizi punterà ad aumentare il livello di soddisfazione percepito dal cittadino.

La realizzazione di un sistema di servizi integrati assume una notevole importanza soprattutto per il profondo mutamento che il Servizio Sanitario Nazionale (SSN) sta subendo. Mutamento dato dalla popolazione anziana più preponderante e quindi un'assistenza centrata a far fronte alle patologie croniche.

L'applicazione di nuove tecnologie rappresenta, anche per l'Italia, una valida opportunità per definire un migliore bilanciamento, tra l'esigenza di maggiore qualità delle prestazioni e un oculato impiego delle risorse disponibili.

L'azione fondamentale proposta dal Governo Italiano è quella della realizzazione di una "eHealth Information Strategy" che abbia una regia unitaria in modo da ottenere uno sviluppo armonico, coerente e sostenibile dei sistemi informativi sul territorio, affinché siano in grado di supportare livelli di interoperabilità crescenti.

Il Ministero della Salute ha quindi definito nuovi strumenti a supporto dell'erogazione dei servizi sanitari che consentiranno innanzitutto di tracciare il percorso del paziente sin dal primo momento di interazione con la rete di

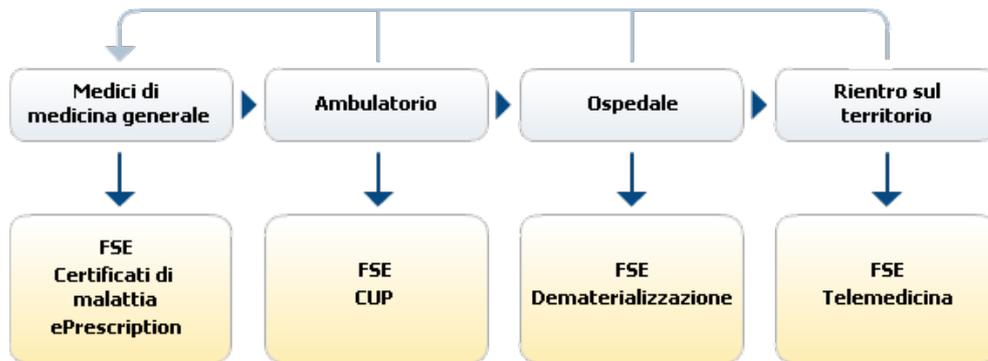


Figura 1.2: I possibili percorsi assistenziali previsti per il cittadino e le soluzioni eHealth a supporto previste dal Ministero della Salute Italiano

assistenza sanitaria. In Figura 1.2 vengono rappresentati i possibili percorsi assistenziali previsti per il cittadino. Essi prevedono il coinvolgimento del medico di medicina generale, del livello ambulatoriale e ospedaliero, nonché del livello territoriale per la gestione post-acuta.

L'avvio del percorso di cura avviene tramite il medico di medicina generale, che è supportato dal Fascicolo Sanitario Elettronico (FSE), dai Certificati telematici di malattia e dal ePrescription. La fase successiva è quella relativa all'assistenza ambulatoriale, in cui gli strumenti a disposizione sono i Centri Unici di Prenotazione (CUP) e l' FSE. Segue l'assistenza ospedaliera che è supportata dall' FSE e dalla dematerializzazione. Nella fase post-acuta le soluzioni di eHealth pertinenti sono l' FSE e la Telemedicina.

La realizzazione dei sistemi informativi per la sanità in rete sta procedendo con apprezzabile dinamismo, attraverso importanti progetti a livello centrale e iniziative attive nelle Regioni Italiane[3].

La situazione sul territorio nazionale risulta tuttavia fortemente differenziata non solo in termini di maturità dei sistemi informativi regionali, ma anche in riferimento alle soluzioni applicative adottate, ai modelli architetturali, agli standard semantici e alle modalità di utilizzo dell'innovazione tecnologica. Alla luce di questo, è fondamentale che le iniziative di eHealth intraprese a

1.2 Iniziative del Ministero della Salute

livello nazionale siano coerenti con la cornice strategica definita dal Nuovo Sistema Informativo Sanitario (NSIS)[4] e pertinenti con le iniziative a livello comunitario.

I principali ambiti di intervento posti dal Ministero della Sanità sono:

fascicolo sanitario elettronico Fornisce ai medici una visione globale e unificata dello stato di salute dei singoli cittadini e rappresenta il punto di aggregazione e di condivisione delle informazioni e dei documenti clinici del cittadino, generati dai vari partecipanti del Sistema Sanitario. Il soggetto del FSE è sempre il singolo cittadino e l'orizzonte temporale di riferimento è l'intera vita. Accanto al sistema di FSE è opportuno ricordare la necessità di avere sistemi di anagrafe per medici e assistiti, in modo tale da permettere di creare un sistema in grado di incidere in maniera significativa sull'efficacia dell'assistenza in termini di appropriatezza clinica ed organizzativa oltre che sull'efficienza dei processi[5].

Centri Unici di Prenotazione L'accesso all'assistenza in tempi più rapidi può essere facilitato dalla presenza di sistemi evoluti di sanità in rete per la prenotazione unificata delle prestazioni, attraverso i CUP. Per CUP si intende il sistema centralizzato informatizzato di prenotazione delle prestazioni sanitarie. Esso deve gestire l'intera offerta con efficienza, strutturare in modo organizzato l'attività delle unità eroganti, interfacciare le diverse procedure di erogazione, accessi e relative informazioni e supportare modalità di programmazione dell'offerta e comunicazione ai cittadini in modo da contenere i tempi di attesa. Nell'ottica di definire un modello nazionale, attraverso il quale consentire una visione completa e pienamente integrata della rete di offerta dei servizi sanitari, sono state predisposte dal Ministero della Salute apposite linee guida in modo da armonizzare i sistemi CUP, attraverso la definizione di caratteristiche minime ed uniformi a livello nazionale[6].

certificati telematici di malattia Il servizio di trasmissione telematica

dei certificati di malattia è finalizzato a consentire l'invio, da parte dei medici del SSN, dei certificati attestanti l'assenza per malattia per i lavoratori sia del settore privato sia del settore pubblico all'INPS e ai rispettivi datori di lavoro.

ePrescription Il Ministero della Salute ritiene essenziale lo sviluppo dell'ePrescription, soprattutto in considerazione dei vantaggi clinico-assistenziali che ne conseguono, tra cui la maggiore facilità di accesso alle terapie, il migliore monitoraggio e controllo delle stesse, la maggiore capacità di prevenzione degli errori clinici e i minori costi sociali.

La trasformazione da ricette cartacee a prescrizioni elettroniche diventa pertanto un passaggio obbligato nell'automazione dei processi di comunicazione. L'adozione di formati digitali rende possibile l'interscambio di informazioni ed automatizza i processi di gestione delle ricette mediche. Con l'ePrescription, inoltre, si può controllare se è appropriata e sicura la prescrizione verificando: le allergie del paziente, le terapie in corso, le possibili interferenze farmacologiche e i profili di cura. In questo modo si dà la possibilità di inserire la prescrizione nel complessivo quadro clinico del paziente.

La prescrizione medica elettronica inoltre consente un controllo della spesa più facile ed accurato, con una tempistica più breve rispetto ai sistemi di elaborazione delle ricette.

telemedicina I servizi di telemedicina possono rappresentare una parte integrante del ridisegno strutturale ed organizzativo della rete di assistenza del Paese.

La telemedicina può contribuire a migliorare la qualità dell'assistenza sanitaria consentendo la fruibilità delle cure, dei servizi di diagnosi e consulenza medica a distanza, oltre al costante monitoraggio dei parametri vitali. In questo modo si riduce l'insorgenza di complicazioni in persone a rischio o affette da patologie croniche.

Essa permette di fornire al paziente un servizio migliore, attraverso una

1.2 Iniziative del Ministero della Salute

più rapida disponibilità di informazioni sullo stato della propria salute, consentendo di accrescere la qualità e tempestività delle decisioni del medico, particolarmente utili in condizioni di emergenza-urgenza.

La telemedicina rappresenta uno dei principali ambiti di applicazione della sanità in rete, offrendo forme innovative di domiciliarità. Grazie alla tecnologia del tele-consulto si può offrire un valido supporto ai servizi mobili d'urgenza, mediante l'utilizzo di risorse cliniche a distanza, dislocate a bordo delle ambulanze. E' fondamentale quindi attuare iniziative volte a promuovere concretamente lo sviluppo della telemedicina sul territorio nazionale[7].

1.2.1 Iniziative Europee

La sanità in rete è al centro di numerose azioni a tutti i livelli. La Commissione Europea ha identificato una serie di azioni volte ad offrire una migliore qualità dell'assistenza sanitaria in tutta Europa, mantenendo stabili o riducendo i costi, abbreviando i tempi di attesa e diminuendo gli errori. Il piano strategico prevede la predisposizione di una "agenda digitale europea" [8].

Tale agenda mira a fornire un contributo alla crescita e alla diffusione a livello europeo dei benefici derivanti dall'era digitale. Obiettivo strategico è quello di sfruttare il potenziale dell'Information and Communications Technology (ICT) a vantaggio della società. Con il supporto delle ICT si vuole avere una assistenza sanitaria sostenibile ed una vita dignitosa e indipendente.

In questo ambito di intervento vengono individuate due azioni chiave, su cui la commissione europea intende focalizzarsi[9]:

- dotare i cittadini europei di un accesso on-line sicuro ai propri dati medici e raggiungere una elevata diffusione dei servizi di telemedicina;
- definire un minimo set comune di dati per l'interoperabilità dei "patient records" a livello europeo.

Sono inoltre previste due ulteriori azioni, l'una a promuovere gli standard, l'interoperabilità, il test e la certificazione dei sistemi informativi sanitari,

l'altra a rinforzare il programma Ambient Assisted Living (AAL) attraverso il quale si consente alle persone anziane ed ai disabili di essere autosufficienti ed attive nella società[58].

1.3 Paesi a basso e medio reddito

Confusione e preconcetti di lunga data sulla natura delle malattie croniche, sulla loro diffusione, sulla popolazione interessata e sui fattori di rischio sono di per se barriere al progresso e alla prevenzione. Quello che era vero, trenta, venti anni fa oggi non è più valido.

A livello mondiale la salute sta generalmente migliorando. Meno persone muoiono per malattie infettive e, quindi, in molti casi vivono abbastanza a lungo da sviluppare malattie croniche.

L'aumento dei fattori di rischio come l'inattività fisica, l'alimentazione scorretta e il consumo di tabacco porta a uno sviluppo più precoce di malattie croniche negli ambienti sempre più urbanizzati dei paesi a basso e medio reddito. In molti di questi paesi l'impatto di malattie simili è in continua crescita, ma i sistemi sanitari locali non sono abbastanza preparati per gestire la richiesta di cure e trattamenti. Per questo si hanno più morti premature rispetto ai paesi più ricchi.

Un circolo vizioso lega le malattie croniche alla povertà. Le malattie croniche sconvolgono le prospettive economiche. Attualmente, quattro decessi su cinque per malattie croniche si verificano nei paesi a reddito basso o medio-basso. Queste persone tendono ad ammalarsi in giovane età e, dopo anni di sofferenza e complicazioni prevenibili, finiscono col morire molto prima di chi vive nei paesi ricchi.

L'impatto delle malattie croniche in tanti Paesi a reddito medio-basso è in continua crescita. E' di vitale importanza prevenire, comprendere e affrontare tempestivamente le malattie croniche. Serve un approccio nuovo.

I poveri sono più suscettibili alle malattie croniche, come possiamo notare nella Figura 1.3, non solo per le carenze oggettive e per lo stress psicosociale,

1.3 Paesi a basso e medio reddito



Figura 1.3: Eventi che legano i Paesi poveri alle malattie croniche

ma anche per i comportamenti maggiormente a rischio, per le condizioni di vita non salubri e per il limitato accesso alle cure adeguate.

Per quanto riguarda le malattie croniche, la causa più immediata di disuguaglianza è la maggiore presenza di fattori di rischio tra i poveri, che insieme alle persone meno istruite sono più propensi al consumo di derivati del tabacco e di cibi altamente energetici e ad elevato contenuto di grassi, alla sedentarietà, al sovrappeso e all'obesità.

Queste differenze di carattere socio-economico nella prevalenza dei fattori di rischio sono particolarmente evidenti nei paesi ricchi, ma stanno diventando significative anche nelle zone a reddito medio e basso.

Le persone meno istruite tendono maggiormente ad avere comportamenti a rischio per diversi motivi: percorsi scolastici più brevi e limitati, maggiore stress di natura psicosociale, scelta limitata dei modelli di consumo, accesso inadeguato alle cure e all'educazione sanitaria, oltre alla vulnerabilità e agli effetti negativi della globalizzazione.

Spesso le scarse possibilità economiche riducono notevolmente l'accesso a quelli che sono requisiti essenziali per una vita sana. L'accesso inadeguato a servizi sanitari di qualità, incluse le prestazioni diagnostiche e la prevenzione clinica, provoca notevoli disuguaglianze sociali ed economiche nel carico di malattie croniche. I poveri devono affrontare diversi ostacoli alle cure, tra cui limiti economici, lontananza o mancanza dei trasporti verso i centri ospedalieri.

Nei paesi a basso e medio reddito, la povertà dipende spesso dalla malattia o dalla morte della persona che costituisce la fonte di reddito del nucleo familiare[10]. Le malattie croniche rappresentano un enorme fardello economico, diretto e indiretto, per i poveri e spingono all'indigenza molte persone e le loro famiglie. Tra i costi diretti delle malattie croniche ci sono le spese per i servizi sanitari e farmaci, che man mano diventano un problema inaffrontabile per molti. Chi si ammala deve spesso affrontare una scelta terribile: soffrire e forse morire senza cure, oppure curarsi e gettare la famiglia nell'indigenza.

Le malattie croniche possono influire anche sulle economie nazionali in molti modi, diretto o indiretti. Per esempio, riducendo la quantità e la produttività del lavoro, come può accadere nell'agricoltura, il calendario può subire delle modifiche, con ritardi in attività cruciali come la semina o il raccolto, ottenendo un impatto diretto nell'economia. Le spese mediche, prosciugano risparmi e investimenti, inclusi quelli per l'educazione dei figli. Tutti questi fattori riducono il potenziale guadagno di singoli e famiglie e influenzando sull'economia della nazione.

1.3.1 Iniziative nei Paesi a basso e medio reddito

L'mHealth è emerso negli ultimi anni, ottenendo un grande riscontro nei paesi in via di sviluppo. Questo è derivante dalla rapida penetrazione della telefonia mobile in queste nazioni. Emerge perché è un mezzo in grado di fornire un maggiore accesso a grandi segmenti di popolazione nei paesi in via

1.3 Paesi a basso e medio reddito

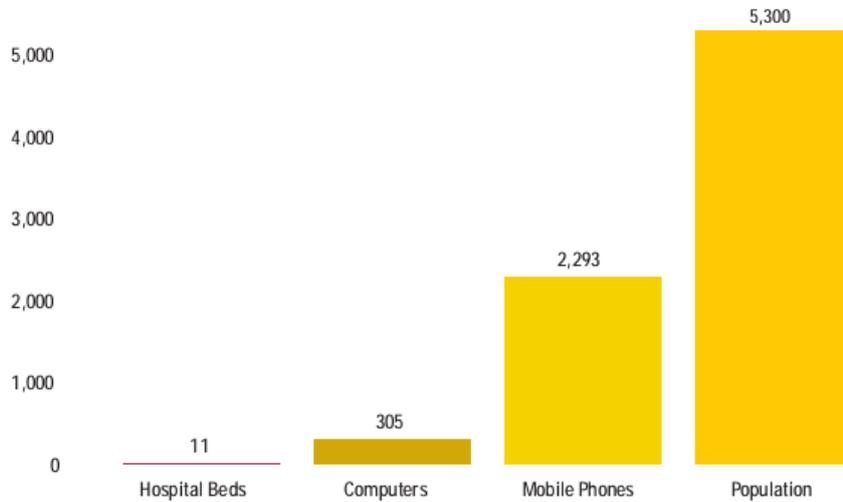


Figura 1.4: Statistica per i paesi in via di sviluppo sulle tecnologie connesse alla salute

di sviluppo, migliorando la capacità di fornire assistenza sanitaria di qualità.

La comunicazione mobile offre uno strumento efficace per realizzare servizi sanitari per lo sviluppo del paese. Con i cellulari a basso costo e la penetrazione delle reti di telefonia mobile a livello globale, decine di milioni di cittadini, che non hanno mai avuto accesso regolare ad un telefono di rete fissa o computer, ora possono utilizzare i dispositivi mobili per la comunicazione e il trasferimento dei dati. Questa crescente ubiquità dei telefoni cellulari è un elemento centrale nella promessa della tecnologia mobile per la salute[21].

La Figura 1.4 mostra come i cittadini del mondo in via di sviluppo abbiano accesso abbondante ai telefoni cellulari, anche se le altre tecnologie e le infrastrutture sanitarie sono scarse.

Questa esplosione di utilizzo della telefonia mobile ha il potenziale per migliorare il servizio di "consegna" della salute su scala massiccia. Includendo i sistemi sanitari nella tecnologia mobile, si consente agli operatori sanitari

di fornire informazioni sulla salute e di effettuare diagnosi in zone rurali ed emarginate in cui i servizi sanitari sono spesso scarsi o assenti del tutto. I paesi a medio reddito e in particolare quelli a basso reddito, sono di fronte a una grave mancanza di risorse umane e materiali, così come alcuni dei maggiori oneri di malattia, povertà estrema, e di grandi tassi di crescita della popolazione. Per questo si sta avendo un massiccio utilizzo di tecnologie mHealth. In questi paesi ci sono zone difficilmente raggiungibili e l'utilizzo di queste tecnologie è l'unico modo per raggiungere le persone tempestivamente e di dare loro informazioni necessarie per la loro salute.

Diversi sono i campi di applicazione dei servizi mHealth per i paesi in a basso e medio reddito:

- educazione e sensibilizzazione;
- help-line;
- comunicazione e formazione degli operatori sanitari;
- raccolta dati remota;
- monitoraggio remoto;
- monitoraggio dello scoppio di epidemie;
- supporto e trattamento diagnostico.

Capitolo 2

Mobile Health

mHealth è un termine usato quando la pratica della medicina e della salute pubblica è supportata da dispositivi mobili. Precisamente si riferisce all'uso di dispositivi di comunicazione mobile come PDA, telefoni cellulari e tablet utilizzati per servizi e informazioni sanitarie.

Le origini di questo campo sono molto lontane, nelle sue prime manifestazioni, gli abitanti dei villaggi africani utilizzavano segnali di fumo per avvertire la popolazione di stare lontano dal villaggio in caso di malattia grave. Agli inizi del 1900, le persone che vivevano in aree remote dell'Australia usavano radio ricetrasmittenti, alimentate da una dinamo spinta da una serie di pedali di bicicletta, per comunicare con il servizio medico Royal Flying dell'Australia.

Dietro allo sviluppo del campo mHealth c'è la necessità di una evoluzione dell'assistenza sanitaria, come abbiamo analizzato nel capitolo precedente. I fattori principali, per cui si necessita di questo tipo di evoluzione, includono una alta crescita della popolazione, un elevato carico di malattia, scarso personale sanitario, limitate risorse finanziarie per sostenere le infrastrutture, l'aumento del tasso di penetrazione della telefonia mobile ed il potenziale di ridurre i costi della sanità.

L'integrazione della tecnologia nel settore della sanità ha il potenziale per evolvere l'assistenza sanitaria, riuscendo ad ottenere stili di vita sa-

ni grazie a:

- una comunicazione migliore;
- migliore qualità dell'assistenza fornita;
- migliore processo decisionale da parte dei professionisti sanitari;
- migliore l'accesso alle cure.

Gli attuali sistemi sanitari sono per lo più strutturati e ottimizzati per reagire alla crisi e gestire la malattia. Focalizzandoci su prevenzione e diagnosi precoce di malattie o mantenimento ottimale delle condizioni croniche si ha la possibilità di aumentare gli attuali sistemi sanitari ed il benessere del paziente.

2.1 Monitoraggio onnipresente

In un ambiente ospedaliero l'abilità di catturare dati continuamente su un paziente, o su una persona a cui non è stata ancora diagnosticata una malattia ben precisa, ha il potenziale di permettere la rilevazione di eventi avversi prima possibile e di avviare trattamenti medici tempestivamente. In questo modo si possono avviare le cure prima che un evento grave vero e proprio si verifichi.

Per il paziente è molto importante tornare al più presto alla vita quotidiana, è per questo che ci si focalizza su un monitoraggio che incrementi anche la mobilità in qualsiasi ambiente.

Introduciamo allora il concetto di monitoraggio "onnipresente", con questo termine intendiamo il monitoraggio di parametri fisici, fisiologici e biochimici in qualsiasi ambiente e senza vincoli sulle attività che il paziente può compiere, ottenendo la massima mobilità della persona monitorata.

Il monitoraggio onnipresente è raggiungibile mettendo insieme i progressi ottenuti in vari campi: sui sensori, sui processori miniaturizzati, sulla durata delle batterie e sulle comunicazioni wireless.

2.1 Monitoraggio onnipresente

Con queste tecnologie si può ottenere una assistenza sanitari che abbia come fulcro il paziente. A livello informativo, il paziente ha una informazione personalizzata del suo stato di salute, in modo da poter capire meglio le proprie condizioni e poter gestire se stesso in maniera migliore. A livello di ricerca, si riuscirà ad imparare molto sulle malattie, comunemente le informazioni ottenute sono solo quelle osservate in ambiente clinico e quindi in un lasso di tempo molto limitato. Con queste tecnologie si avranno molti dati che rappresenteranno meglio l'andamento delle malattie, la reazione alle cure e molte altre informazioni. A livello di monitoraggio, il sistema osserva in maniera affidabile lo stato di salute della persona, analizzandone i parametri in qualsiasi momento. A livello di cura, la somministrazione dei farmaci potrebbe essere adattata all'esigenza specifica del paziente, oggi infatti le dosi sono definite in accordo alla popolazione media e senza un effettivo dosaggio personalizzato.

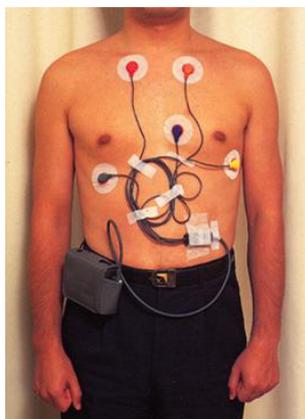


Figura 2.1: Holter Monitor: strumento di registrazione cardiaca per 24 ore

Tradizionalmente, i sistemi di monitoraggio medici personali sono utilizzati solo per raccogliere i dati, infatti l'elaborazione e l'analisi vengono eseguite off-line. Ad esempio l'Holter Monitor, rappresentato in Figura 2.1, cattura i disturbi cardiaci per 24 ore poi i dati raccolti vengono analizzati in un secondo momento dal medico. Ancora più ingombranti sono i sistemi con sensori multipli che spesso dispongono di molti cavi che collegano i diversi

sensori al sistema di monitoraggio. Limitando l'attività del paziente e il suo livello di confort quello che si ottiene è una modifica dei risultati ottenuti. Riuscire ad ottenere dei sistemi indossabili per il monitoraggio sanitario continuo è quindi molto utile, anche per evitare i problemi dovuti alla "sindrome da camice bianco", che altera i risultati dei test con lo stress e l'ansia dovuti alla visita clinica.

I sistemi indossabili, permettono un monitoraggio in qualsiasi momento ed in qualsiasi luogo, un'altra caratteristica importante è il collegamento diretto con il medico o con un parente in caso di necessità.

Questo approccio permette ai famigliari di giocare un ruolo attivo nella cura dei propri cari superando però l'onere di un monitoraggio in prima persona 24 ore su 24 e 7 giorni su 7 e permette ai medici di offrire diagnosi e trattamenti tempestivamente, magari anche in real-time con una modifica della cura.

I sistemi di monitoraggio onnipresente permettono ai medici di conoscere lo stato dei pazienti sospettati di soffrire di malattie croniche durante la loro vita quotidiana. Vengono correlati i risultati con le abitudini del paziente per meglio capire se è necessaria una terapia e quale è la terapia da avviare. Il paziente poi continua ad essere monitorato in modo da conoscere i risultati ottenuti dal trattamento scelto.

Questo può essere molto apprezzato se si pensa alla grande quantità di malattie croniche esistenti e la necessità di anticipare quanto prima possibile la diagnosi e il trattamento, come con l'ipertensione e il diabete.

Ampliando la prospettiva, possiamo anche immaginare sistemi indossabili che includano non solo tecnologie di monitoraggio ma anche di intervento come può essere la somministrazione di un medicinale, in modo che quando si verifica un evento avverso il medico, o il sistema in automatico, possa intervenire istantaneamente.

Nel mondo ci si aspetta che i diabetici nel 2025 siano 380 milioni. Una volta diagnosticata la malattia è richiesta la somministrazione regolare dell'insulina più volte al giorno e il controllo del livello di glucosio con apparecchiature che richiedono la puntura con un piccolo ago.

2.2 Context-Aware Sensing

Utilizzando queste tecnologie ad esempio nei diabetici, impiegando un glucometro impiantabile o indossabile è possibile non solo monitorare il livello di glucosio del paziente ma, affiancando un somministratore di insulina, implementare un controllo a ciclo chiuso che di fatto realizzi un "pancreas artificiale".

In questo modo si otterrebbe una assistenza sanitaria completa in mobilità.

Uno degli approcci più promettenti nella costruzione di sistemi di monitoraggio sanitario utilizza Wireless Body Area Network (WBAN). Una WBAN consiste in multipli nodi sensore, ciascuno in grado di campionamento, elaborazione e comunicazione di uno o più segni vitali o ambientali. Tipicamente questi sensori sono posizionati strategicamente sul corpo umano consentendo un monitoraggio in qualsiasi ambiente e per un periodo prolungato, ottenendo quindi un "monitoraggio onnipresente".

Le WBAN anche chiamate Body Sensor Network (BSN) sono la tecnologia chiave per il passaggio ad una assistenza sanitaria attiva e conveniente.

2.2 Context-Aware Sensing

Sopra abbiamo riportato come esempio l'utilizzo dell'Holter Monitor per far notare che i sistemi di monitoraggio utilizzati oggi hanno una cattura dei dati molto limitata nel tempo ed una analisi dei dati off-line. E' interessante notare una ulteriore caratteristica, quando il medico analizza i dati non è a conoscenza del contesto in cui sono stati rilevati.

Per contesto intendiamo una serie di informazioni che potrebbero aver influito sui risultati del monitoraggio e che ad esempio con Holter Monitor vengono persi.

I fattori caratterizzanti il contesto riguardano le attività svolte dal paziente, il suo stato fisiologico e l'ambiente che lo circonda.

Le principali informazioni sono:

informazioni spaziali posizione, orientamento velocità e accelerazione;

informazioni temporali ora, data e stagione dell'anno;

informazioni ambientali temperatura, qualità dell'aria, luce, rumore;

interazioni persone vicine;

attività parlare, leggere, camminare, correre.

L'informazione contestuale è necessaria per migliorare l'accuratezza delle diagnosi realizzate a partire dal segnale acquisito. Questo perché dati simili possono essere interpretati in maniera differente rispetto alle attività correnti del paziente e solo un'accurata analisi del contesto può permettere la distinzione tra informazioni importanti e non importanti, nella grande quantità di dati acquisita.

Ad esempio, la causa di un rapido incremento del battito cardiaco osservato nell'ECG può essere il risultato dell'attività fisica svolta dal paziente piuttosto che un sintomo di ipertensione.

Le informazioni sul contesto del paziente erano acquisite manualmente dal paziente stesso attraverso diari o questionari. Questo metodo, oltre a richiedere grandi quantità di tempo, è anche inaffidabile. Un altro metodo di acquisizione del contesto è attraverso le osservazioni in clinica ma esse riflettono quasi mai il comportamento reale del paziente nel suo ambiente domestico.

Per questo è molto importante nei sistemi di monitoraggio avere:

- la presentazione dei dati e dei servizi insieme al contesto corrente, in modo da fornire un supporto "intelligente" all'utente;
- l'esecuzione automatica di servizi, in base al contesto rilevato;
- legare il contesto al dato per le visualizzazioni successive.

Queste caratteristiche ci sono fornite da una classe di sistemi chiamati "Context-Aware Sensing" capaci di rilevare il contesto e di modificare, se necessario, il proprio comportamento in accordo con esso. Questi sistemi giocano un ruolo fondamentale nelle BSN perché permettono di interpretare i segnali fisici e biochimici acquisiti dai sensori in base allo stato corrente

2.3 Modello globale

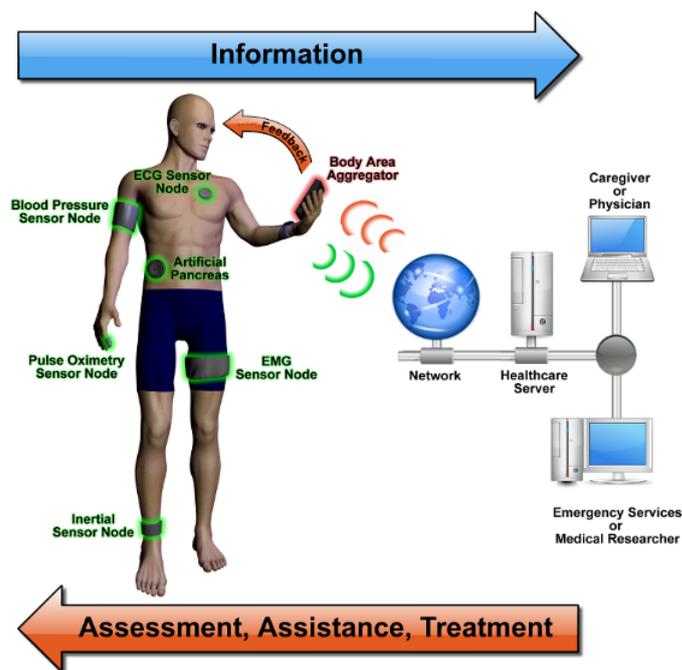


Figura 2.2: Rappresentazione del modello da utilizzare

dell'utente e dell'ambiente esterno.

Il context-aware sensing è quindi una parte integrante al fine di conseguire un monitoraggio onnipresente a lungo termine.

2.3 Modello globale

Sapendo quali sono le necessità dei pazienti e del sistema sanitario, andiamo a descrivere uno scenario che riesca a creare una assistenza sanitaria ovunque, in qualsiasi momento e per chiunque abbia la necessità di essere monitorato costantemente.

Sappiamo che la persona con cui il sistema deve interagire può essere una persona anziana o comunque non un tecnico, per questo motivo l'interazione con le applicazioni di monitoraggio deve essere semplice, personalizzabile ed adattabile alle condizioni del paziente e alle difficoltà che può avere, come ad esempio delle disabilità.

Vanno studiati quali parametri è necessario monitorare e quindi quali sensori sono necessari per il paziente. Oltre ai sensori di monitoraggio è importante anche valutare la necessità di sistemi attivi, cioè sistemi in grado di intervenire in caso di emergenza o periodicamente sul paziente. Aggiungendo questi dispositivi abbiamo la possibilità di ottenere una assistenza sanitaria personalizzata per il paziente in quel preciso istante.

Il compito principale di un sensore è quello di rilevare accuratamente i segnali e inviarli. E' importante avere la possibilità di conoscere il grado di pericolo dei dati rilevati, definendo i limiti caratterizzanti una situazione ottimale, a rischio o grave. Ovviamente questi valori non devono essere prefissati ma modificabili, per poter personalizzare il sensore in base alle necessità del paziente.

Necessari sono anche i sensori per la rilevazione del contesto, questo tipo di informazioni sono fondamentali per valutare i dati ricevuti e capire se il paziente è in uno stato di pericolo. Se ad esempio siamo in pieno agosto e la temperatura è elevatissima non è un allarme se il paziente ha una sudorazione eccessiva o una temperatura più elevata del solito; i dati devono essere interpretati in base al contesto.

L'applicazione nello smartphone assocerà ai dati relativi al contesto i dati rilevati, in modi che il medico abbia le informazioni necessarie per valutare i dati in qualsiasi momento, anche nelle visualizzazioni successive.

I dati dai sensori vengono inviati allo smartphone che li riceve e li invia ad un server ospedaliero, al personale medico e informa il paziente sulla sua attuale situazione.

In caso di emergenza possiamo effettuare chiamate in automatico dallo smartphone ad ambulanze comunicando la posizione geografica del paziente grazie al GPS. In caso di segnale basso sarebbe utile riuscire a riconoscere la posizione dell'access point Wifi, cosa possibile con uno smartphone moderno. Anche il rilevamento di cadute, grazie ad un accelerometro, potrebbe essere un dato importante per la salvaguardia del paziente.

Secondo la nostra analisi, fondamentale per avere un sistema "globale" è

2.3 Modello globale

includere anche una comunicazione dal medico al paziente.

In questo modo si dà possibilità al medico, che visiona i dati, di modificare i parametri dei dispositivi e dell'applicazione nello smartphone o di avere una comunicazione, una video-chiamata, con il paziente. Senza dover chiedere al paziente di recarsi in clinica, esso può quindi modificare la cura, aumentando quindi la reattività e i benefici forniti dal sistema.

Capitolo 3

Reti di sensori wireless

Una rete di sensori wireless è un insieme di sensori disposti in prossimità oppure all'interno del fenomeno da osservare. Le Wireless Sensor Network (WSN) sono utilizzate in variegati contesti. Una delle più comuni applicazioni in cui è possibile far uso di una rete di sensori consiste nel monitoraggio di ambienti fisici, come il traffico in una grande città oppure dati rilevati da un'area disastrosa da un terremoto. Tra i campi di applicazione abbiamo anche quello medico-sanitario.

In ambito medico una rete di sensori potrebbe essere ottenuta attaccando i sensori al corpo oppure impiantandoli nei tessuti ed è in questi casi che si parla di Body Sensor Network (BSN). Le BSN sono reti di sensori specificatamente progettate per il collegamento wireless di sensori corporali impiantabili e indossabili; esse sono anche chiamate Wireless Body Area Network (WBAN).

Lo sviluppo delle BSN si basa sulle WSN, tuttavia le caratteristiche di cui necessita una BSN differiscono in:

numero e densità di sensori Dipende da diversi fattori. I nodi in una BSN sono posizionati sul corpo e nascosti, impiantati o nell'abbigliamento, mentre le WSN hanno dimensioni anche nell'ordine di km. Oltre a questa differenza c'è la possibilità di inserire nodi ridondanti come

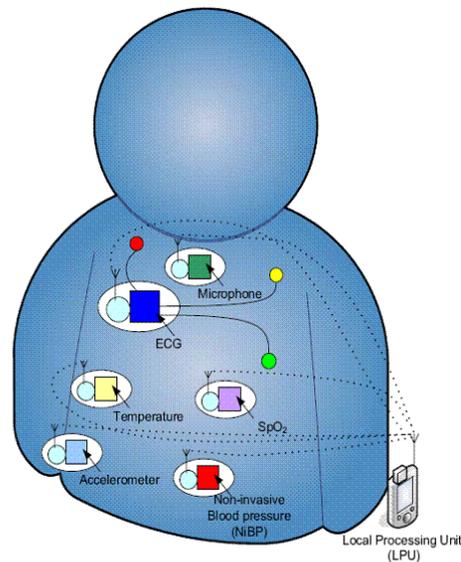


Figura 3.1: Rappresentazione di una BSN

soluzione in caso di fallimento nelle WSN, cosa non possibile per le BSN.

data-rate Le BSN hanno un data-rate periodico, mentre le WSN sono spesso impiegate per un monitoraggio basato sul verificarsi di eventi.

mobilità Il corpo umano può essere in movimento.

radiazioni Utilizzo di trasmissioni a bassa potenza.

consumo energetico La batteria è in gran parte dei casi il contributo più grande in termini di dimensione e peso, per questo si ha la necessità di utilizzarne con dimensioni ridotte, avendo così dispositivi con risorse limitate.

affidabilità I dati monitorati devono essere ricevuti correttamente.

L'affidabilità del sistema è un indice sulla qualità del monitoraggio del paziente.

3.1 Hardware

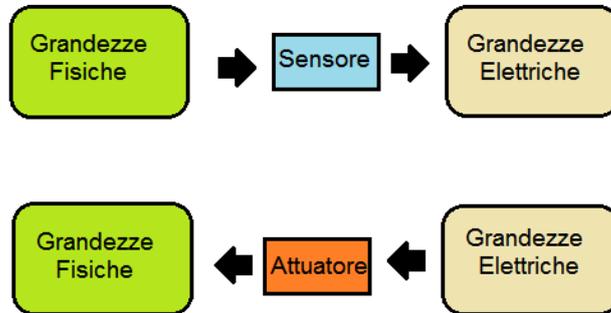


Figura 3.2: Rappresentazione dei nodi sensore

usabilità Le reti vanno utilizzate da pazienti e staff medico, e per questo è di grande importanza l'usabilità anche per persone non esperte di BSN.

privacy La trasmissione di dati sanitari, sia tra i nodi di una BSN che in Internet, deve essere privata e confidenziale.

sicurezza Si deve avere la certezza che quei dati non siano stati manomessi e che siano effettivamente quelli del paziente.

3.1 Hardware

L'hardware necessario per creare una BSN è:

nodo sensore Dispositivo in grado di raccogliere i dati riguardanti i parametri vitali della persona, di processarli se necessario e di trasmettere l'informazione via wireless. E' composto da un processore, una batteria, un ricetrasmittitore e dal sensore.

nodo attuatore Dispositivo in grado di agire in base ai dati rilevati o in accordo con l'utente, spesso il nodo attuatore e sensore coincidono. La parte più importante di un nodo attuatore è l' "actuating-hardware", i restanti componenti sono un processore, una batteria, un ricetrasmittitore.

Personal Device Dispositivo che riceve i dati da tutti i sensori e poi li invia a vari sistemi. Può provvedere anche a processare i dati e comandare gli attuatori. E' costituito da una batteria, un processore più potente dei nodi sensore, una memoria e un ricetrasmittitore. Questo ruolo può essere svolto da PDA o smartphone.

I nodi, sia attuatori che sensori sono alla base delle BSN e sono chiamati anche mote[59]. Nella Figura 3.1 possiamo vedere la rappresentazione di un paziente con un certo numero di mote attaccati al corpo. Ogni mote è costituito da un sensore, un piccolo processore, un'antenna wireless e una batterie. Il mote assicura la cattura accurata dei dati dai sensori a cui è collegato, un processing di basso livello dei dati e la trasmissione wireless dell'informazione a una local processing unit (LPU). I dati di tutti i sensori sono quindi raccolti dalla LPU, processati, fusi insieme e trasmessi verso un server centrale di monitoraggio.

3.1.1 Sensori

Un sensore è un dispositivo che rileva un segnale di input fisico o chimico e lo converte in un appropriato segnale di output. Essi possono essere classificati in base a:

- parametro misurato (es. PH);
- applicazione (es. Uso biomedico);
- tipo di materiale su cui si basa la misura (es. Semiconduttore);
- principio di trasduzione (es. sensore chimico).

I nodi sensore utili in una Body Sensor Network sono di vario genere e si possono dividere in tre principali tipologie:

trasduttore fisico monitora fenomeni fisici come luce, movimento, temperatura. Nel campo delle BSN ne sono un esempio i sensori di pressione,

3.1 Hardware

gli accelerometri e sensori di luce e i sensori acustici. Non sono sensori specifici del campo biomedico ma in una BSN sono fondamentali per le informazioni sull'ambiente esterno (contesto).

senso chimico converte grandezze chimiche in grandezze elettriche. Utilizzati comuni sono l'analisi del sudore, della saliva e la concentrazione del gas nel respiro. Sono inoltre utilizzati per la misurazione dell'inquinamento ambientale, aria, acqua. Sono anche loro utilizzabili per raccogliere informazioni sul contesto che circonda il paziente.

biosensore sono costituiti da un elemento sensibile biologicamente attivo e da una parte elettronica. L'elemento biologico interagisce con lo strato da analizzare e un sistema di trasduzione (sensore) converte la risposta biochimica in segnale elettrico.

Diversi sono i sensori disponibili, ne facciamo un elenco per capire quante e che tipo di informazioni, oggi, è possibile monitorare con un sensore:

accelerometro è un ottimo esempio per mostrare i progressi nella tecnologia Micro Electro-Mechanical Systems(MEMS). Sono sensori in grado di rilevare e misurare l'accelerazione. Nella maggior parte degli accelerometri, il principio di funzionamento si basa sulla rilevazione dell'inerzia di una massa quando viene sottoposta ad un'accelerazione. La massa viene sospesa ad un elemento elastico, mentre un qualche tipo di sensore ne rileva lo spostamento rispetto alla struttura fissa del dispositivo. In presenza di un'accelerazione, la massa (che è dotata di una propria inerzia) si sposta dalla propria posizione di riposo in modo proporzionale all'accelerazione rilevata. Il sensore trasforma questo spostamento in un segnale elettrico acquisibile dai moderni sistemi di misura[25].

giroscopio è un dispositivo per la misurazione dell'orientamento, sulla base dei principi del momento angolare[26].

glucometro è un biosensore che analizzando una goccia di sangue fornisce la misura del livello di glucosio contenuto nel sangue. Sono stati introdotti anche sistemi di monitoraggio non invasivi che utilizzano tecnologie a infrarossi e misure ottiche.[27].

pressione sanguigna sensore non invasivo che permette di ottenere misure della pressione sanguigna sistolica e diastolica, utilizzando tecniche oscillometriche.

CO2 misura il livello di anidride carbonica e la concentrazione di ossigeno all'interno dell'ambiente in cui si trova il paziente.

ECG (Elettrocardiogramma) registra l'attività elettrica del cuore. Per ottenere l'ECG diversi elettrodi sono attaccati al corpo in posizioni specifiche e viene misurata la differenza di potenziale tra gli elettrodi.

EEG (Elettroencefalogramma) misura l'attività elettrica cerebrale attaccando elettrodi al cuoio capelluto. I segnali dagli elettrodi vengono poi amplificati per ottenere il tracciamento del segnale.

EMG (Elettromiografia) misura i segnali elettrici prodotti dai muscoli quando si contraggono o si rilassano.

pulsossimetro è uno strumento in grado di rilevare la saturazione di ossigeno dell'emoglobina. In pratica misura se nel sangue circola una quantità sufficiente di ossigeno[28].

temperatura utilizzati per la misurazione della temperatura del corpo umano e dell'ambiente che circonda la persona.

umidità utilizzati per la misurazione dell'umidità dell'ambiente e del corpo umano.

I progressi nella tecnologia MEMS[37] sta portando a sensori che rappresentano un potenziale enorme per il futuro del monitoraggio pervasivo del corpo umano.

3.1 Hardware

Nome	OS	Standard	DataRate	Copertura	Consumo
eyesIFX	TinyOS	TDA5250	64 kbps		Basso
Mote	TinyOS	Bluetooth	720 kbps	30 m	Basso
iMote2	TinyOS - .NET	IEEE 802.15.4	250 kbps	30 m	Basso
IRIS	TinyOS	IEEE 802.15.4	250 kbps	300 m	Basso
Micaz	TinyOS	IEEE 802.15.4	250 kbps	75-100 m	Basso
Mica2	TinyOS	IEEE 802.15.4		>100 m	Basso
Telos	TinyOS	IEEE 802.15.4	250 kbps	75-100 m	Basso
ZigBit	ZDK	IEEE 802.15.4	250 kbps	3,7 m	Basso
BTNode	TinyOS	Bluetooth			Basso
EZ430-RF2500	IAR Embedded Workbench	SimpliciTI	500 kbps		Basso

Figura 3.3: Tabella nodi sensore

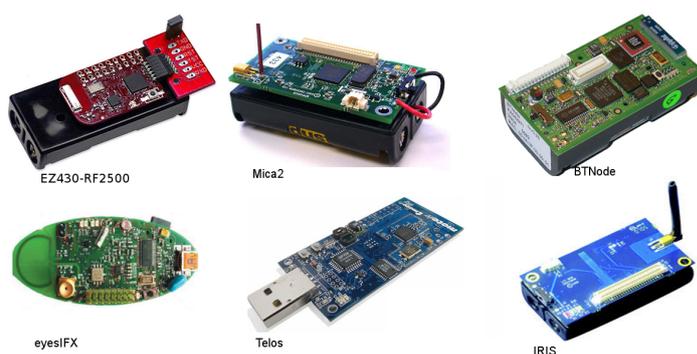


Figura 3.4: Alcuni nodi sensore

I sensori utilizzano dei sistemi operativi con ridotte dimensioni e basso consumo durante l'elaborazione. Questi sistemi devono implementare i protocolli di rete, in base alla periferica utilizzata e devono essere poco dispendiosi in termini di energia.

Alcuni nodi sensore esistenti sono elencati in Figura 3.3. Tra tutti questi sistemi si può notare la diffusione di un particolare sistema operativo TinyOS; mentre sulla scelta dell'interfaccia radio c'è più varietà, possiamo infatti trovare sensori che utilizzano Bluetooth ed altri, il più utilizzato, IEEE 802.15.4.

Sensori multi-parametro

Nel tentativo di realizzare sistemi che monitorino continuamente il paziente i sensori sono stati inseriti anche all'interno dell'abbigliamento o in accessori in modo da realizzare sistemi indossabili utilizzabili in maniera completamente naturale. E' stato introdotto il concetto di "smart shirt" laddove i sensori sono inseriti in vestiti e tessuti.

Le camicie di cotone sensorizzate per misurare l'attività respiratoria, elettrocardiogrammi, elettromiogrammi e postura del corpo come nel progetto My Heart e Wealthy[29]o ancora il progetto Lifeshirt[30].



Figura 3.5: e-textile, tessuto con sensori integrati (Fonte Smartex)

Inserire i sensori negli indumenti ha il vantaggio di creare un sistema indossabile più facilmente ma manca di flessibilità nel caso in cui si debba aggiungere o redistribuire i sensori in base alla fisionomia del paziente. Il nostro obiettivo è quello di progettare piattaforme dedicate che utilizzino sensori impiantabili ed esterni in modo da ottenere una rete di sensori meno intrusiva possibile ma che allo stesso tempo offra la possibilità di aggiungere e rimuovere sensori in base alle necessità.

Dobbiamo ben riflettere sui sensori multi-parametro infatti essi sono molto allettanti ma, secondo la nostra analisi, sono migliori per analizzare i parametri di un corpo in salute o di una categoria con circa le stesse caratteri-

3.1 Hardware

stiche. E' molto interessante monitorare mediante una maglietta i parametri di un atleta, ma nel nostro caso parliamo di persone che non vengono monitorate solo per rilevare i loro parametri, per "effettuare studi", ma per controllare le malattie, in corpi di ogni genere e tipo. Dobbiamo quindi riuscire a creare sistemi il meno intrusivi possibile ma senza diminuire l'efficienza e la personabilità.

3.1.2 Attuatori

Come abbiamo detto gli nodi attuatori sono dispositivi in grado di interagire con il corpo, essi sono identificabili in medicina con i dispositivi medici impiantabili attivi (IMD) ed includono:

defibrillatori cardiaco impiantabile Il defibrillatore cardiaco impiantabile (ICD acronimo inglese) è costituito da un generatore impiantato sottocute e da uno o più elettro-cateteri posizionati nelle camere cardiache, in grado di rilevare, interpretare e memorizzare l'attività elettrica intrinseca del cuore e, all'occorrenza, di erogare stimolazioni (terapia anti-bradicardica) o shock elettrici (terapia anti-tachicardica).

Il defibrillatore cardiaco impiantabile è in grado di riconoscere una tachiaritmia ventricolare maligna e di erogare automaticamente una terapia elettrica immediata in pazienti a rischio di morte cardiaca improvvisa.

I moderni dispositivi sono piccoli, leggeri e durano a lungo, e nuove funzioni sono state sviluppate. Gli sviluppi più importanti dal nostro punto di vista, sono stati compiuti per migliorare l'accessibilità del generatore e la comunicazione dei dati rilevati.

Se l'ICD non dispone di metodi di comunicazione il follow-up deve essere fatto da una clinica di stimolazione e il paziente deve partecipare. Durante il follow-up la clinica controllerà la durata della batteria e scaricherà tutti gli eventi avvenuti per analizzarli, si assicureranno che i fili siano ancora funzionanti e non ci siano problemi. Tutte le impostazioni dell'ICD possono essere valutate e regolate attraverso il follow-up.

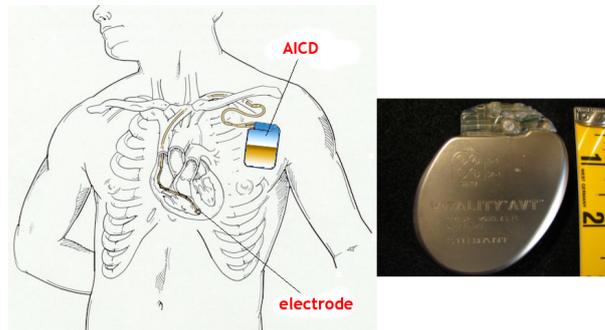


Figura 3.6: Rappresentazione di un defibrillatore impiantato ed a destra un esempio

I nuovi dispositivi tentano di aumentare l'accessibilità comprendendo metodi di comunicazione. Aggiungendo anche solo di funzioni di controllo della memoria, per vedere che disturbi si sono verificati e quali azioni l'ICD ha preso, è possibile limitare i follow-up. Il medico sarà sempre informato sullo stato di salute attuale del paziente, mediante i dati ricevuti, e non sarà aggiornato solo ogni follow-up. La possibilità di comunicare i dati rilevati e le operazioni attuate è fondamentale per essere poterne sfruttare a pieno le potenzialità in una BSN[46][44].

microinfusori, pompe di insulina Sono piccoli dispositivi elettro-meccanici di precisione che liberano insulina nell'organismo, il metodo principale per l'infusione è tramite un sottile tubo di plastica che connette la pompa a un piccolo flessibile ago inserito nella la pelle.

Il microinfusore da solo non è un pancreas artificiale, cioè un apparecchio in grado di autodefinire il dosaggio di insulina in base alle rilevazioni glicemiche. È un apparecchio di precisione, controllato da un piccolo computer programmabile, che libera insulina regolare, prelevandola da un apposito serbatoio, in quantità estremamente precisa, secondo l'ammontare precedentemente programmato. È possibile programmare la pompa a rilasciare insulina in qualsiasi momento lo si desidera. Tuttavia, si deve controllare la propria glicemia più volte al

3.1 Hardware

giorno. Il microinfusore contiene un piccolo serbatoio di insulina regolare, una piccola pompa a batteria, ed un computer che controlla l'intero sistema[42].



Figura 3.7: Due esempi di microinfusore

Questo sistema per arrivare a simulare un pancreas artificiale può contenere anche un sensore per misurare il livello glicemico, in modo da regolare l'apporto di insulina. Altrimenti, nel nostro caso basta includere nella BSN sia un sensore glicemico che un microinfusore.

In questo modo sarà possibile arrestare o rallentare la somministrazione di insulina in caso di aumenti di glucosio nel sangue oppure aumentare il rilascio di insulina in caso i valori di zucchero dovessero andare sopra i livelli consentiti[43].

neuro-stimolatori Esistono varie tipologie di neuro-stimolatori: la stimolazione cerebrale profonda[39], gli stimolatori del midollo spinale[41], gli stimolatori del nervo vago[40].

La stimolazione cerebrale profonda (DBS) è un intervento chirurgico di trattamento che comporta l'impianto di un dispositivo medico, che invia impulsi elettrici a parti specifiche del cervello.

Il DBS consiste di tre componenti: il generatore di impulsi impiantato (IPG), dal conduttore della stimolazione e da una estensione. L'IPG è

un neuro-stimolatore alimentato da una batteria inserita in una struttura di titanio, che invia impulsi elettrici al cervello. L'elettro-catetere è posizionato nel cervello, ed è collegato all'IPG da un filo isolato che corre sottocute dalla testa, lungo il lato del collo dietro l'orecchio fino nella zona sotto la clavicola. E' una tecnologia che può essere utilizzato nel trattamento del morbo di Parkinson, del tremore e della distonia[38].



Figura 3.8: Esempi di neuro-stimolatori. Da sinistra: DBS, VNS e SCS

La stimolazione del nervo vago (VNS) è applicata nei casi di epilessia e depressione grave non curabile con farmaci. Consiste sempre nell'applicazione di un IPG ma che viene collegato al nervo vago come possiamo notare in Figura 3.8.

La stimolazione del midollo spinale (SCS) o del nervo periferico è utilizzata nella terapia del dolore cronico. L'elettro-catetere ed un neuro-stimolatore impiantato (IPG), erogano impulsi elettrici che bloccano i messaggi dolorosi inviati al cervello. In questi casi l'IPG viene posizionato nell'addome.

stimolatore gastrico Lo stimolatore gastrico impiantabile (IGS) è un dispositivo elettrico con dei conduttori collegato da un chirurgo alla superficie dello stomaco. Questi dispositivi sono destinati al trattamento dell'obesità. Le tecniche utilizzate sono dette stimolazione gastrica.

3.1 Hardware

Il paziente sottoposto a stimolazione gastrica avverte il senso di sazietà prima e più duraturo, questo gli permette di alimentarsi in modo corretto, mangiando le giuste quantità di cibo e gli consente di non provare lo stimolo della fame tra un pasto e l'altro. La diretta conseguenza di questo nuovo equilibrio dato dal IGS è il calo ponderale, inoltre la stimolazione gastrica non induce il metabolismo a rallentare e a diminuire nel corso del trattamento come invece accade nella dietoterapia e nella terapia chirurgica gastro-restrittiva, anzi se ne registra un innalzamento.

Per funzionare al meglio il IGS deve essere periodicamente regolato, la

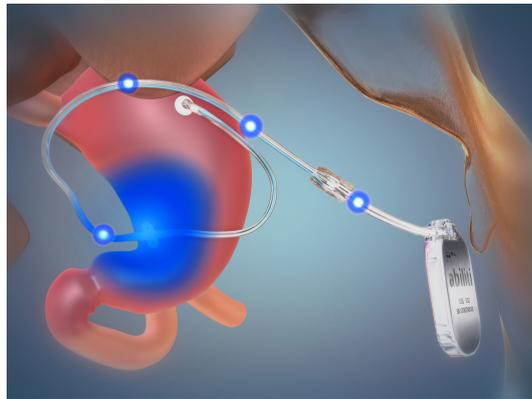


Figura 3.9: Gastro-stimolatore impiantato

procedura è totalmente indolore per il paziente, ma necessaria; con la regolazione il medico programma il IGP adattandone i parametri alla situazione clinica del paziente. In media il tempo tra una modulazione e l'altra è di circa un mese[34].

Integrando questi dispositivi in una BSN si raggiungerebbero grandi potenzialità. Gli attuatori che abbiamo descritto sono già integrati con un sensore, cosa che spesso accade nei nodi attuatori. Essi infatti sono studiati per rilevare un evento e reagire in maniera opportuna.

Integrandoli in una BSN avremmo un sistema capace di dare una visione

generale dello stato di salute del paziente e di reagire. Aggiungendo la connessione agli attuatori, che spesso ne sono sprovvisti, l'invio delle informazioni al medico avverrebbe in modo diretto, questo aiuterebbe molto la resa di questi sistemi dato che il loro maggior difetto è quello che spesso bisogna andare in clinica per controllare i dati e modificare le impostazioni.

In questo modo il paziente potrebbe andare in clinica solo in caso di vera necessità e non per "consegnare" i dati al medico curante.

Se aggiungiamo anche la possibilità del medico di modificare i parametri da remoto otterremo un sistema completo a tutti gli effetti. Infatti in questo modo il medico non solo è a conoscenza dei dati ma può modificare il funzionamento del dispositivo senza che il paziente si rechi in clinica.

Ovviamente esistono molti altri tipi di sensori impiantabili, noi abbiamo descritto i principali e i fondamentali per contrastare soprattutto la mortalità data dalle malattie croniche. Ma come per i sensori, in questo campo ci sono infinite possibilità di sviluppo.

3.1.3 Smartphone

Uno smartphone o in italiano telefonino intelligente è un dispositivo che comprende svariate funzionalità[32].

La caratteristica più interessante degli smartphone è la possibilità di installarvi ulteriori applicazioni, che aggiungono nuove funzionalità. Questi programmi possono essere sviluppati dal produttore dello smartphone, dallo stesso utilizzatore o da terze parti.

Sono quasi sempre inclusi la connessione dati ovvero l'accesso a Internet, le E-mail, la pianificazione delle attività, la fotocamera, rubrica e contatti personali, registratore audio, riproduttore audio-musicale, la navigazione satellitare con GPS e la compatibilità con i più comuni formati di file, come PDF e quelli della suite Microsoft Office.

Esistono smartphone con connessione GSM/GPRS/EDGE, UMTS, HSDPA ed utilizzano anche tecnologie Bluetooth e Wi-Fi per le comunicazioni.

La caratteristica principale degli smartphone moderni è tuttavia la possibilità

3.2 Architettura

di installare applicazioni di terze parti (software, giochi, temi) per aumentare le funzionalità del dispositivo mobile. Alcune di queste funzionalità aggiuntive sono rese possibili dall'integrazione nel dispositivo mobile di sensori quali accelerometro, magnetometro, sensore di prossimità ecc...

Android

Android è un sistema operativo per dispositivi mobili costituito da uno stack software che include un sistema operativo di base, i middleware per le comunicazioni e le applicazioni di base. Caratteristiche principali di Android sono la struttura open source (escluse alcune versioni intermedie) e il suo basarsi su kernel Linux[47]. La piattaforma usa il database SQLite, caratteristica molto importante per le applicazioni mHealth fornendo la possibilità di mantenere una collezione dei dati del paziente, altre caratteristiche utili sono fornite dal browser, utile per le applicazioni web come ad esempio interrogazione di database esterni o altre azioni tra paziente e medico. Il mezzo più importante fornito da Android è la possibilità di creare applicazioni grazie ad un SDK molto potente, in Java.

3.2 Architettura

Per lo sviluppo di una architettura basata su BSN per applicazioni mediche bisogna analizzare:

il problema individuare bene le necessità in base al campo in cui ci si trova, in questo caso, sanitario, quindi valutare i requisiti necessari secondo il personale medico;

l'utente utilizzare sistemi che, in questo caso il paziente, deve essere capace di accettare;

l'ambiente il sistema che vogliamo riuscire a creare dovrà lavorare non solo in ospedale ma anche in ambiente domestico sia indoor che in outdoor.

Quindi valutare tutte le caratteristiche dell'ambiente o degli ambienti in cui bisogna operare;

sensori i sensori utilizzati e la loro posizione;

l' aggregatore il Personal Device.

In una generica architettura BSN per l'applicazione sanitaria, diversi tipi di sensori inviano dati al vicino Personal Device, poi, attraverso una connessione, questi dati vengono trasmessi in remoto al personale medico per una diagnosi in tempo reale, ad un database medico o ancora ad un gestore delle emergenze.

Per meglio affrontare il problema distingueremo tra comunicazione intra-body e comunicazione extra-body. La prima individua la comunicazione tra sensori/attuatori e il Personal Device, la seconda quella tra Personal Device e la rete esterna, come mostrato in Figura 3.10.

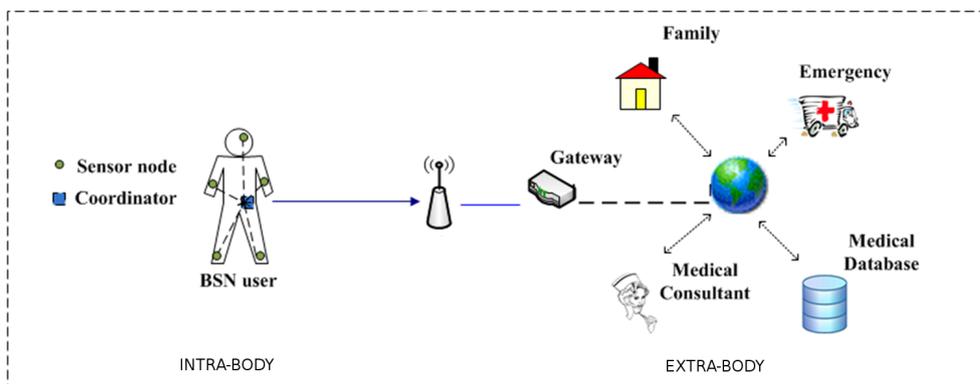


Figura 3.10: Suddivisione architettura intra-body e extra-body

3.2.1 Comunicazioni intra-body

Indichiamo con questo termine le comunicazioni wireless che avvengono a poca distanza dal corpo umano. Dove è possibile distinguere in comunicazioni tra i nodi sensore e comunicazioni tra i nodi sensore e il Personal Device.

Le topologie di rete più utilizzate in una BSN sono:

3.2 Architettura

- **tree** Nodo centrale chiamato radice, il quale si trova in testa alla gerarchia, è connesso ad uno o più nodi che si trovano ad un livello più basso della gerarchia attraverso un collegamento point-to-point. Nel caso si verificano problemi di comunicazione o rottura di un nodo intermedio comporterebbe un malfunzionamento di una parte della rete o dell'intera rete.
- **star** Tutti i nodi sono collegati, tramite un tratto dedicato, a un dispositivo centrale, chiamato hub, che ha funzionalità di instradamento. I vantaggi di questa rete sono l'alta affidabilità e l'alta scalabilità, l'unico punto debole della rete è l'hub, se si guasta tutta la rete cessa di funzionare.
- **mesh** Si dividono in mesh fully connected e mesh partially connected. Nelle prime ogni nodo è connesso a tutti gli altri nodi presenti in rete tramite tanti canali quanti sono i nodi a cui è connesso. Questo tipo di rete richiede costi elevati ma presenta un'alta affidabilità. Nelle seconde invece ci sono dei collegamenti "mancanti".

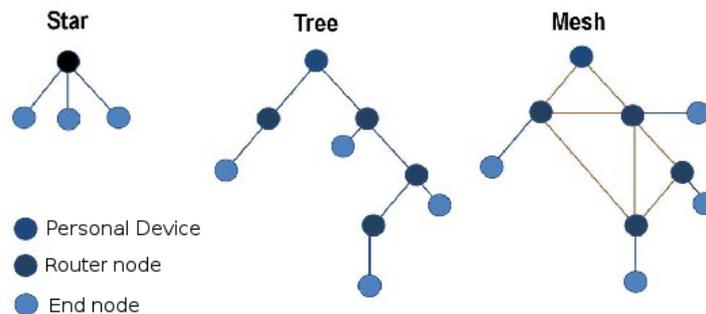


Figura 3.11: Topologie utilizzabili in una BSN

Analizzando le necessità della nostra architettura, dobbiamo creare una struttura dove più sensori trasmettono a un Personal Device e quest'ultimo periodicamente invia i dati processati ad un access point. Oltre a questo possiamo

avere anche la possibilità di creare due livelli, collegando i sensori ad un sensore centrale che fonde i dati e poi li invia al Personal Device.

Utilizzando un Personal Device che offre alte capacità di processing dei dati e un'interfaccia input output, il paziente è sempre tenuto al corrente del proprio stato e allertato se il suo stato di salute peggiora. In questo scenario reti con topologia a stella o reti mesh sono entrambe applicabili.

Una topologia a stella implica un'architettura centralizzata dove il "core" del sistema è un nodo centrale, nel nostro caso uno smartphone, che possiede risorse superiori ai sensori periferici.

Con una topologia mesh abbiamo un sistema distribuito con una rete senza un coordinatore centrale. Spostando l'intelligenza del sistema verso i nodi sensore, la BSN sarà formata da sensori intelligenti che comunicano tra loro. Essendo una rete indipendente da qualsiasi nodo centrale anche se un nodo si guasta le altre parti del sistema continuano ad operare. Questo approccio è da preferire nei casi in cui i sensori devono comunicare tra loro.

3.2.2 Comunicazioni extra-body

Indichiamo in questo modo tutte le comunicazioni che avvengono dal Personal Device in poi. In alcuni casi si divide tra comunicazioni intra-BAN e beyond-BAN cosa che noi non faremo perché parte fondamentale dell'intra-BAN è il fatto di connettersi con le WSN ambientali per ottenere le informazioni sul contesto. Ma nel nostro scenario le informazioni sul contesto sono reperite direttamente dalle comunicazione intra-body o dal Personal Device. Possiamo quindi parlare direttamente di comunicazioni extra-body, che permettono di abilitare il personale medico ad accedere ad informazioni sul paziente utilizzando la rete cellulare o Internet. Un database che mantiene i profili utente e relativi dati medici storici è un ulteriore componente fondamentale. In questo modo il medico può sempre accedere alle informazioni di cui ha bisogno e allo stesso tempo possono essere implementati sistemi di notifica automatici per i familiari che si basano sui dati raccolti.

Per ottenere una combinazione tra diverse tecnologie, il Personal Device do-

3.3 Protocolli di rete

vrebbe tradurre i protocolli usati nelle BSN negli standard utilizzati nella sanità, in modo da permettere l'utilizzo dei dati raccolti dai sistemi clinici esistenti.

Ricordiamo anche che il nostro sistema prevede l'utilizzo nello smartphone, nel Personal Device, del metodo "Always Best Packet Switching" (ABPS).

3.3 Protocolli di rete

Le BSN utilizzano le comunicazioni wireless all'interno e intorno al corpo umano. Opera quindi vicina al corpo e la sua area di comunicazione si estende per 2 metri circa.

3.3.1 Bluetooth

L' IEEE 802.15.1 (Bluetooth) fornisce un metodo standard, economico e sicuro per scambiare informazioni tra dispositivi diversi attraverso una frequenza radio sicura a corto raggio di azione, da 1 a 100 metri. La versione 2.0 gestisce una modalità ad alta velocità che consente fino a 3Mb/s.[50]

Il Bluetooth è un protocollo packet-based con una struttura master-slave (master: dispositivo che si occupa della sincronizzazione del clock degli altri dispositivi e della sequenza dei salti di frequenza; slave: unità sincronizzate al clock del master e al canale di frequenza).

Ogni dispositivo è in grado di gestire simultaneamente la comunicazione con altri 7 dispositivi, anche se essendo una rete master-slave solo un dispositivo alla volta può comunicare con il server. Questa rete viene chiamata piconet. La sincronizzazione del clock serve, ad esempio, a sincronizzare gli scambi di dati tra i dispositivi, distinguere tra i pacchetti ritrasmessi o persi.

La tecnologia Bluetooth definisce due tipi di collegamenti a supporto delle applicazioni voce e trasferimento dati: un servizio asincrono senza connessione (ACL, Asynchronous Connection Less) ed un servizio sincrono orientato alla connessione (SCO, Synchronous Connection Oriented). ACL supporta

traffico di tipo dati e si basa su un servizio di tipo best-effort. L'informazione trasportata può essere di tipo utente o di controllo. SCO, invece, è un collegamento che supporta connessioni con un traffico di tipo real-time e multimediale.

- **ACL** Il collegamento ACL supporta connessioni a commutazione di pacchetto, connessioni punto-multipunto e connessioni simmetriche o asimmetriche. Nel caso di connessioni simmetriche il data rate massimo è di 433,9 kbit/s in entrambe le direzioni; mentre, per connessioni asimmetriche si raggiungono 723,2 kbit/s in una direzione e 57,6 kbit/s in quella opposta. Uno slave può trasmettere solamente se nello slot precedente aveva ricevuto un pacchetto dal master. In questo tipo di collegamenti, in genere, viene applicata la ritrasmissione dei pacchetti.
- **SCO** prevede connessioni a commutazione di circuito, connessioni punto-punto e connessioni simmetriche. Questo tipo di connessione è generalmente utilizzata per il trasporto della voce in canali da 64 kbit/s. Il master può supportare fino a tre collegamenti SCO verso lo stesso slave o verso slave differenti appartenenti alla stessa piconet. Uno slave, invece, può supportare fino a tre connessioni SCO verso lo stesso master, o due se i collegamenti sono stati creati da diversi master. A causa della sensibilità al ritardo di questi pacchetti (trasportano dati di natura real-time), non è prevista alcuna ritrasmissione in caso di errore o perdita.

Un dispositivo Bluetooth si può trovare essenzialmente in due stati, in quello di connessione o in quello di standby. L'unità si trova nello stato di connessione se è connesso ad un altro dispositivo ed è coinvolto con esso alle normali attività. Se il dispositivo non è connesso, o non è coinvolto alle attività della piconet, allora esso si trova automaticamente nello stato di standby. Questo stato è concepito come un modo per far risparmiare energia ai dispositivi. Se uno di essi non è coinvolto attivamente all'interno di una connessione, non c'è motivo che assorba picchi di potenza pari a quelli dei dispositivi at-

3.3 Protocolli di rete

tivi. Quando un'unità si trova in standby ascolta il canale ogni 1,28 secondi per eventuali messaggi dal master. Quando un dispositivo passa dallo stato di standby a quello di connessione, esso può essere collocato in una delle seguenti modalità:

active mode l'unità partecipa attivamente alla piconet, sia in ricezione che in trasmissione, ed è sincronizzata al clock del master. Il master trasmette regolarmente per mantenere la sincronizzazione del sistema. Sono al massimo 7.

park mode il dispositivo è ancora sincronizzato alla piconet ma non sta comunicando. "sonnecchia" consumando poco e rimanendo sincronizzato alla piconet. Questa modalità è stata ideata per avere la possibilità di costituire piconet con più di sette slave. Infatti si possono avere fino ad massimo di 255 dispositivi in modalità Park.

Dal punto di vista delle BSN il Bluetooth mostra diversi limiti. La formazione autonoma di reti non è supportata e quando il master di una piconet si muove dalla rete l'intera rete cade, cosa che va in conflitto con le caratteristiche di mobilità richieste dalle applicazioni BSN. Inoltre lo start-up della connessione è piuttosto lento, fino a 5 secondi ed il consumo energetico rispetto ad altre tecnologie wireless è sensibilmente più alto.

3.3.2 Bluetooth 4.0: Low Energy

I vantaggi del Bluetooth a basso consumo sono:

- consumo minimo di energia in modalità picco, media e stand-by;
- capacità di funzionare per anni con l'energia di comuni batterie a bottone;
- basso costo;
- interoperabilità;

- raggio di azione potenziato.

Questo potenziamento della tecnologia Bluetooth offre due implementazioni, single-mode e dual-mode. Nell'implementazione single-mode i dispositivi possono comunicare solo con altri dispositivi single-mode o dual-mode. In una implementazione dual-mode, la nuova funzionalità è integrata all'interno di un controller Bluetooth classico permettendo la connessione anche con i dispositivi Bluetooth delle specifiche precedenti (v.2.1 v.3.0)[14][52].

Nella pratica i piccoli device, come i sensori, sono implementati in single-mode; i dispositivi dual-mode sono invece i dispositivi Bluetooth tradizionali, permettendo però la comunicazione anche con i nuovi dispositivi; un cellulare, un PDA e quindi nel nostro caso il Personal Device di una BSN, dovrebbero essere dispositivi dual-mode.

Confrontato con il Bluetooth classico il Bluetooth Low Energy sembra essere molto più efficiente, anche se la velocità di trasmissione massima è 1Mbps, soprattutto in termini di latenza e consumo energetico, requisiti fondamentali nelle BSN. Questo è stato possibile ottimizzando:

messaggi di avviso per "connectability" e "discoverability" Nel

Bluetooth classico affinché un dispositivo si possa connettere o sia visibile nella scansione dei dispositivi disponibili, esso deve accendere il ricevitore sperando che si sia qualcuno che voglia trasmettergli qualcosa (è necessario quindi un periodo pari a 22ms visto che un dispositivo farà uno scan sulle frequenze alla ricerca di altri dispositivi). Con il Bluetooth Low Energy il dispositivo che vuole essere visibile deve trasmettere 3 brevi pacchetti e ascoltare se qualcuno desidera comunicare (il tempo impiegato per l'invio e l'ascolto è di 1,4 ms).

eventi di connessione e comunicazione Quando è richiesta una connessione tutte le informazioni necessarie sono contenute nel pacchetto inviato dal master che ha avviato la connessione allo slave. Questo invio non rende necessario la negoziazione di altri parametri prima dell'invio dei vari dati veri e propri, questo risparmia tempo e energia.

3.3 Protocolli di rete

pacchetti più efficienti L'overhead è stato ridotto, il che significa una minore energia richiesta per la trasmissione della stessa quantità di dati rispetto al Bluetooth classico.

3.3.3 ZigBee

L'IEEE 802.15.4 (ZigBee) è attualmente lo standard più utilizzato perché garantisce consumi energetici molto bassi e costi di produzione ridotti. ZigBee opera nelle frequenze radio assegnate per scopi industriali, scientifici e medici (ISM) da 2.4GHz. Una rete ZigBee dispone di tre differenti tipi di dispositivo:

ZigBee Coordinator (ZC) è il dispositivo più intelligente tra quelli disponibili, costituisce la radice di una rete ZigBee e può operare da ponte tra più reti. Ci può essere un solo Coordinator in ogni rete. Esso è inoltre in grado di memorizzare informazioni riguardo alla sua rete e può agire come deposito per le chiavi di sicurezza;

ZigBee Router (ZR) questi dispositivi agiscono come router intermedi passando i dati da e verso altri dispositivi;

ZigBee End Device (ZED) includono solo le funzionalità minime per dialogare con il suo nodo parente (Coordinator o Router), non possono trasmettere dati provenienti da altri dispositivi; sono i nodi che richiedono il minor quantitativo di memoria e quindi risultano spesso più economici rispetto ai ZR o ai ZC.

I protocolli ZigBee minimizzano il tempo di attività del radiotrasmettitore, così da ridurre il consumo di energia. Ogni rete deve disporre di un dispositivo coordinatore, con il compito di creazione, controllo dei parametri e manutenzione di base. All'interno di reti a stella, il coordinatore deve essere il nodo centrale.

Vengono forniti due schemi per l'accesso al mezzo:

beacon-enabled nelle reti beacon enabled, i nodi detti ZigBee Router trasmettono periodicamente dei beacon per confermare la loro presenza agli altri nodi. Tra un beacon e l'altro i nodi possono cambiare modalità per risparmiare energia.

Se è il coordinatore a voler inviare dati ad un device, nel caso di rete con beacon abilitati, il coordinatore indica nei suoi messaggi beacon l'intenzione di trasmettere; il dispositivo che periodicamente ascolta il canale determina la presenza di un messaggio in attesa e, utilizzando lo slotted CSMA/CA lo richiede. Ricevuto il messaggio di ack dal ricevente il messaggio viene eliminato dalla lista degli uscenti;

non-beacon-enabled in pratica queste reti sono miste: alcuni dispositivi sono costantemente pronti a ricevere, mentre altri si limitano a trasmettere in presenza di uno stimolo esterno. L'esempio tipico di una rete di questo tipo è dato dagli interruttori wireless: il nodo ZigBee nella lampada può essere costantemente in ricezione, avendo la possibilità della connessione diretta alla rete elettrica, mentre l'interruttore (al pari di un telecomando) alimentato a batteria può rimanere inattivo fino all'istante in cui vi è necessità di mandare un segnale. A quel punto si attiva, invia il comando, riceve un segnale di acknowledge e ritorna inattivo. In questo esempio la lampada sarà un ZR, se non un ZC, mentre l'interruttore sarà uno ZED.

Nelle reti non-beacon-enabled il coordinatore memorizza i dati per il dispositivo che deve riceverli e attende di ricevere la richiesta da questo. Quando il dispositivo richiede i dati il coordinatore invia un ack e quindi i dati. Si nota che i trasferimenti dati sono completamente controllati dai dispositivi piuttosto che dal coordinatore. Un dispositivo può sia trasferire dati al coordinatore sia interrogare il coordinatore per ricevere dati. Questo consente un efficiente risparmio energetico perché i dispositivi possono "dormire" appena possibile, piuttosto che mantenere attivo il ricevitore.

3.3 Protocolli di rete

In generale, i protocolli ZigBee minimizzano il tempo di attività del radiotrasmettitore, così da ridurre il consumo di energia. Nelle reti beacon enabled i nodi consumano energia solo nel periodo in cui c'è il beacon, mentre in quelle non-beacon enabled alcuni nodi sono sempre attivi (il loro consumo di energia è quindi alto) mentre altri sono per la maggior parte del tempo spenti.

	ZigBee	Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Range	10-300 metri	10 - 100 metri	>100 metri
Topologie	Ad-hoc, star, mesh	Ad-hoc, point to point, star	Ad-hoc, point to point, star
Frequenza	868 MHz (Europe)	2.4 GHz	2.4 GHz
Consumo Batteria	6 mesi - anni	giorni - mesi	1 - 2 anni
Unione alla rete	30ms	fino a 5s	3ms
Passaggio ad attivo	15ms	3s	1,4 μ s
Data Rate	250 Kbps	1 - 3 Mbps	1 Mbps

Figura 3.12: Tabella comparativa protocolli di rete

Un dispositivo ZigBee diventa attivo alla ricezione di un pacchetto in circa 15millisecondi, mentre un dispositivo Bluetooth impiega 3 secondi. Inoltre rispetto al Bluetooth che supporta solo piccole reti, ZigBee consente di creare reti con molti nodi in configurazioni master-slave; in particolare sono supportate tre tipi di topologie: star, cluster-tree, mesh. Una rete mesh ZigBee può includere sia dispositivi "full-function" (FFD) che dispositivi "reduced-function" (RFD). Il primo è equivalente ad un chip dual-mode nel Bluetooth Low Energy e può agire da coordinatore oppure da router, il RFD è l'equivalente di un chip single-mode in Bluetooth Low Energy e non può lavorare come coordinatore ma solo come end-device.

Uno dei principali vantaggi di ZigBee rispetto ad altre tecnologie wireless di prossimità, è l'elevato livello di sicurezza che viene supportato a livello di collegamento fra 2 nodi di rete, ma anche a livello di rete ed applicativo. E' previsto un controllo degli accessi, codifica dei dati, rinnovo sequenziale, integrità dei frame.

Confrontando il Bluetooth con ZigBee si nota come il Bluetooth offra una velocità di trasferimento ben più alta rispetto ai dispositivi ZigBee, ma

il consumo energetico e il prezzo di produzione sono senza dubbio inferiori. Si riscontrano anche limitazioni dovute al numero di nodi attivi in una piconet, decisamente basso e l'alto costo energetico dello scanning del canale.

Probabilmente il successo di ZigBee nelle BSN è dovuto all'influenza che le WSN hanno sulle BSN. Infatti dobbiamo comprendere nei confronti anche il Bluetooth Low Energy che possiede sicuramente un potenziale maggiore dovuto ai bassi consumi, data-rate più elevati, dimensioni dei chip single-mode di pochi mm e costi bassi. Possiamo quindi concludere tenendo conto dei possibili sviluppi, che il protocollo con maggiori potenzialità è proprio il Bluetooth Low Energy.

3.4 Software a bordo sensore

Il sistema operativo embedded è creato per essere eseguito su nodi sensore e quindi deve:

- essere di piccole dimensioni;
- ridurre il consumo di energia durante il processing dei dati;
- consumo tendente allo zero durante la fase di idle del device;
- sincronizzazione dei processi, gestione della concorrenza;
- astrazione hardware del nodo sensore.

Il più diffuso e importante sistema operativo è TinyOS.

3.4.1 TinyOS

TinyOS è stato sviluppato da parte di un'associazione guidata dall'Università della California, Berkeley, in collaborazione con Intel Research.

E' un sistema operativo free ed open source, scritto in nesC nato con il fine di creare un sistema operativo ottimizzato per ridurre i consumi di energia, ridurre il sovraccarico computazionale, minimizzare le dimensioni del sistema

3.4 Software a bordo sensore

operativo, supportare le richieste di operazioni frequenti e concorrenti con un alto livello di robustezza ed efficienza.

nesC deriva dal C ed è stato creato specificatamente per i sensori. Un'applicazione nesC è un insieme di componenti collegati da interfacce ognuna delle quali modella un servizio. In questo modo si ottiene un'astrazione dei componenti il cui utilizzo è indipendente dall'implementazione.

Comandi ed eventi costituiscono codice asincrono. TinyOS è un sistema operativo totalmente non bloccante. L'assenza di primitive bloccanti è un grosso limite poiché può portare a situazioni di race condition.

Tuttavia, nesC "risolve" il problema permettendo l'inserimento di codice sincrono fornendo task e sezioni atomiche. L'implementazione di questo costrutto richiede la disattivazione di tutti gli interrupt, l'esecuzione del codice (monopolizzando l'intero sistema) e la successiva riattivazione degli interrupt. E' quindi necessario che le sezioni atomiche siano quanto più piccole possibile per evitare di perdere eventi che nel frattempo potrebbero verificarsi.

I task sono gestiti da uno scheduler con politica FIFO. Questo semplice meccanismo di concorrenza è efficiente per applicazioni incentrate sull'I/O ma diventa carente all'aumentare del carico per la CPU.

TinyOS differisce dai sistemi operativi tradizionali innanzitutto perché è sprovvisto di un kernel che gestisca le risorse disponibili; si integra direttamente nel programma sviluppato.

TinyOS esegue un programma usando due soli thread, uno contenente i task e un altro contenente i gestori di eventi hardware, che vengono eseguiti in risposta a interrupt hardware. Vengono utilizzati solo due thread perché essi occupano una gran quantità di RAM non disponibile sulle piattaforme dei sensori.

Inoltre TinyOS avendo risorse limitate, gestisce le operazioni hardware secondo il paradigma *slip-phase*. In un sistema a blocchi quando un programma chiama una lunga operazione la chiamata non torna fintanto che l'operazione è completata.

In un sistema *slip-phase* quando un programma chiama una funzione lun-

ga la chiamata ritorna immediatamente e quando ha completato effettuerà una callback. In questo modo non bisogna aspettare necessariamente il completamento dell'operazione.

Capitolo 4

Software e sviluppi

Per completare il sistema sono necessari diversi strumenti software per la raccolta, la visualizzazione e anche la memorizzazione, l'elaborazione e l'analisi dei dati.

Proviamo ad elencare teoricamente quali sono i compiti base del Personal Device, quindi cosa deve riuscire a fare il nostro "servizio di assistenza sanitaria mobile".

- ricevere i dati dai sensori;
- fondere i dati;
- inviare i dati ricevuti dai sensori al server;
- ricevere le eventuali modifiche dei parametri dei sensori/attuatori dal medico;
- ricevere le eventuali comunicazioni del medico;
- inviare le modifiche da effettuare ai sensori/attuatori.

Questo crea un flusso di dati, divisibile in due vie, come possiamo vedere dalla Figura 4.1. Troviamo quindi una comunicazione dai sensori, al Personal Device, al server ospedaliero fino ad arrivare al medico; in questo caso i dati che viaggiano sono i parametri rilevati dai sensori. Viceversa, partendo dal

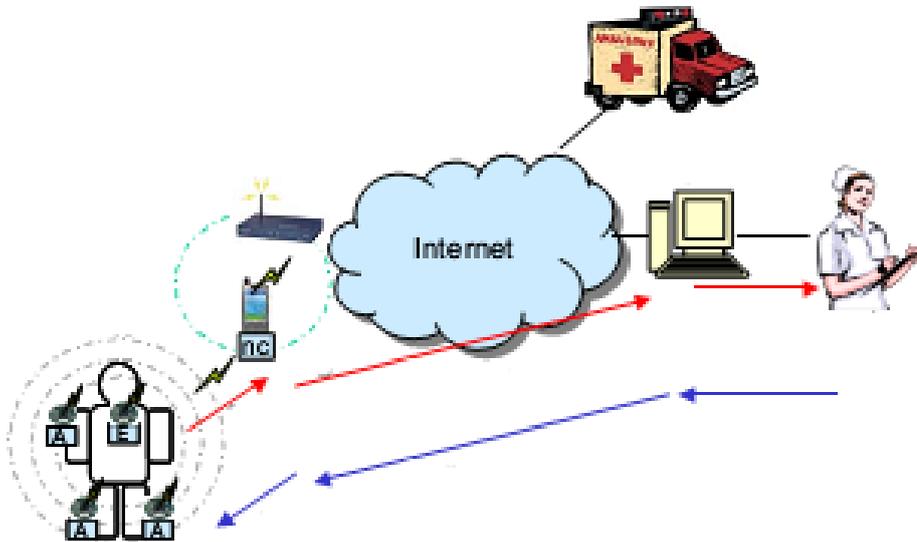


Figura 4.1: Flusso delle comunicazioni nel sistema proposto

medico fino ad arrivare ai sensori, viaggiano i dati inviati dal medico, quindi, informazioni per il paziente o modifiche dei sensori/attuatori. Ovviamente le persone ed i server con cui comunicare crescono con l'aumentare dei servizi offerti.

Il Personal Device deve inoltre gestire svariate caratteristiche che abbiamo ritenuto fondamentali per offrire una buona assistenza sanitaria, come:

- analizzare i dati ricevuti;
- informare il paziente del proprio stato attuale;
- gestire ed effettuare le chiamate in caso di emergenza;
- informare i familiari, in determinati casi preimpostati;
- chiamare l'ambulanza, quando il paziente è in uno stato di allarme;

Quelli elencati sopra sono tutti servizi che puntano alla salvaguardia del paziente, ma possiamo prevedere di integrare il sistema anche con applicazioni che gli semplificano la vita fornendogli diversi servizi, come:

-
- gestione delle visite (prenotazione, promemoria e cancellazione);
 - gestione delle medicine (ricezione delle ricette mediche, promemoria medicine);
 - gestione della dieta (lista dei cibi da comprare, quantità di calorie assunte);
 - gestione della riabilitazione (esercizi da fare).

Questa tipologia di servizi può essere molto ampia e crescere all'aumentare dei sistemi con cui può interfacciarsi. Questi servizi verranno sviluppati ed integrati nel sistema in base alle necessità del paziente.

L'interesse alle Body Sensor Network, ha portato alla creazione di piattaforme proprietarie. Questo crea relazioni chiuse, permettendo ai produttori di sviluppare le proprie soluzioni senza tener conto delle soluzioni di altri fornitori.

Una tecnologia mHealth come l'abbiamo studiata sopra, deve cooperare con un gran numero di sistemi differenti; necessita quindi della creazione di standard in modo da riuscire a fruttare questo insieme di sistemi.

Riportiamo brevemente alcuni progetti sviluppati o in via di sviluppo vicini alle necessità del nostro sistema. Questo per riuscire a dare una idea di cosa si vuole andare a creare.

Healthservice24 e MobiHealth

Le BSN utilizzano degli standard leggeri che devono essere tradotti in standard per la sanità in modo da permettere l'utilizzo dei dati raccolti dai sistemi clinici esistenti. Un esempio di sistema che realizza questo è il progetto Healthservice24 e MobiHealth dove il cellulare, utilizzato come stazione base mobile per la rete di sensori indossata sul corpo, trasmette le misurazioni via wireless, a un centro specializzato che agisce come intermediario tra il paziente e il fornitore dell'assistenza sanitaria.

Tre sono i servizi offerti:

- data repository, raccolta e memorizzazione dei dati ricevuti;
- servizio di streaming, forwarding dei dati al personale medico;
- servizio di feedback, invio di un allarme o di promemoria alle destinazioni impostate utilizzando SMS.

LiveNet

MIThril LiveNet è una piattaforma distribuita e flessibile che può essere utilizzata per una gran varietà di applicazioni per healthcare proattive. Il sistema LiveNet permette al paziente di:

- ottenere un feedback real-time del proprio stato di salute;
- essere continuamente monitorato e analizzato;
- comunicare le informazioni agli assistenti sanitari.

Il sistema LiveNet si basa sull'architettura MIThril, un'architettura collaudata e accessibile che combina hardware di basso costo, un sensor/peripheral interconnection bus, e un potente communications per facilitare lo sviluppo di applicazioni real-time distribuite multinodali e context-aware.

Il sistema MIThril LiveNet è basato su un device PDA linux-based. Questo sistema permette di avere applicazioni che richiedono analisi dei dati real-time, peer-to-peer wireless networking, audio full-duplex, storage dei dati in locale, integrazione grafica e input keyboard/touchscreen.

Attualmente i sensori stand-alone disponibili includono accelerometri, IR active tag readers, battery monitors, unità GPS, microfoni, EK-G/EMG, galvanik skin response(GSR), e sensori di temperatura. Il sensor HUB permette anche di interfacciarsi con un grande range di sensori commercialmente disponibili, come per pulsossimetria, respirazione e pressione sanguigna, EEG, glicemia, umidità, temperatura interna, flusso di calore e sensori CO2.

Qualsiasi numero di questi sensori può essere combinato attraverso collegamenti per creare una diversificata Body Sensor Network.

Sana- SanaMobile

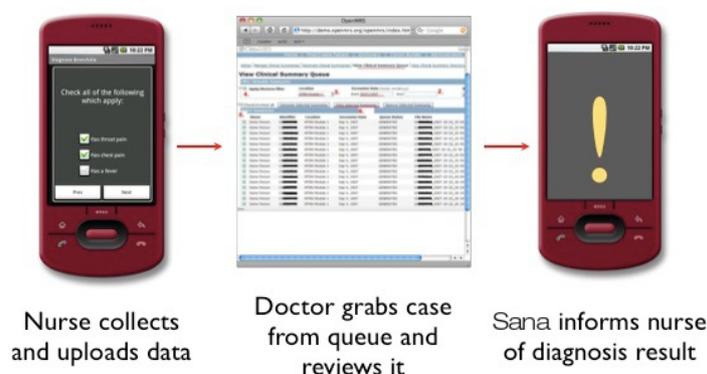


Figura 4.2: Procedura di lavoro di Sana (Fonte Sana Mobile)

Sana è una piattaforma open-source per remote medical diagnostics. E' un sistema end-to-end che collega gli operatori con i professionisti del settore medico. Sana è integrato con OpenMRS, un sistema open-source per la raccolta dei record medici comunemente usato nel mondo dello sviluppo healthcare.

Sana è altamente personalizzabile, permettendo alle organizzazioni di creare i propri flussi di lavoro, i quali possono essere dinamicamente trasferiti su telefoni che utilizzano Sana e possono essere condivisi tra altre organizzazioni. Sana offre la possibilità di un utilizzo all'interno di smartphone Android, fornendo una interfaccia user-friendly.

Sana è un sistema che supporta audio, immagini, dati location-based, testo e in futuro video. Il sistema Sana è costituito da almeno un telefono cellulare e un server web. Il server gestisce il sistema medico, come OpenMRS, e il Sana Dispatch Server.

Il Sana Dispatch Server è un programma in esecuzione sul server che è responsabile della comunicazione da e verso i telefoni registrati al sistema. Sana è attualmente compatibile con OpenMRS, utilizzando dei plug-in in modo da potersi interfacciare con sistemi dei record medici. Sfida centrale per le piattaforme di diagnostica a distanza è la robustezza del sistema.

Sana utilizza diverse strategie per garantire risultati sicuri, a basso costo per i trasferimenti di dati:

sincronizzazione Quando una procedura è completata per un paziente, viene memorizzata in locale. A questo punto la procedura può essere eseguita per il cliente successivo. Un servizio in background è in costante ascolto, per controllare quando è possibile una connessione. Appena si rileva una connessione disponibile, tutti i moduli e le procedure vengono caricate sul server.

pacchettizzazione Alcuni dati acquisiti sono molto grandi, come le immagini ad alta risoluzione. Spesso, a causa del servizio scadente, si inizia il trasferimento ma esso viene interrotto causando una caduta completa dei dati, anche se in parte già inviati. Utilizzando la pacchettizzazione, si dividono i file di grandi dimensioni in blocchi in modo da ridurre i problemi in caso di connessione persa.

trasferimenti multimodali Sana ha la capacità di trasferire i dati utilizzando un certo numero di interfacce, tra cui GPRS, WiFi, SMS e USB. Interfacce differenti vengono utilizzate per dati differenti. Le immagini e i suoni tramite GPRS, WiFi ma il testo può essere inviato via SMS. La diagnosi del medico viene inviata al telefono via SMS. Questo viene fatto perché se il telefono è fuori copertura, l'operatore appena il servizio sarà disponibile, fornirà la notifica degli SMS.

Borboleta

Il progetto Borboleta condotto dalla Università di Sao Paulo, Brasile, mira a sviluppare un sistema mobile open source per la gestione integrata delle informazioni sanitarie nel contesto dei centri sanitari pubblici ed il servizio medico a casa.

Il sistema sviluppato memorizza i dati personali del paziente e la sua salute, inclusa la storia del trattamento. In questo modo si vuole migliorare la qualità del servizio sanitario, facilitando l'accesso alle informazioni sanitarie dei



Figura 4.3: A sinistra Borboleta su dispositivo mobile, a destra due screenshots di SaguiSaúde

pazienti e garantendo che meno dati vadano persi, a causa di scritte a mano che poi vengono elaborate.

Il sistema è composto da due parti principali:

- **Borboleta** che funziona su smartphone con la tecnologia Java e LWUIT;
- **SaguiSaúde** che è in esecuzione al centro sanitario, vi accedono gli operatori sanitari tramite browser Web.

Il sistema gestisce i dati dei pazienti, gli appuntamenti, le prescrizioni medicinali e gli esami di laboratorio. Tutti questi dati vengono memorizzati in un database PostgreSQL che è gestito da professionisti della salute attraverso una interfaccia web implementata utilizzando Ruby on Rails (RoR).

Il modulo Borboleta, lavora su uno smartphone e trasporta le informazioni memorizzate nella banca dati centrale. A casa del paziente, può non essere disponibile un accesso alla rete, per questo la sincronizzazione è ritardata fino a quando lo smartphone non dispone di connessione Wifi.

Per lo scambio di informazioni tra la parte mobile e fissa viene utilizzato un protocollo bidirezionale di sincronizzazione basato su REST (Resource State Transfer) in HTTP.

SaguiSaúde e Borboleta non sono ancora in produzione, ma alcuni dei loro moduli sono già utilizzabili e testati.

Softcare

Softcare è un progetto fondato dal programma Ambient Assisted Living (AAL). Il sistema Softcare offre funzioni aggiuntive per i sistemi di monitoraggio; fornisce una serie di caratteristiche che facilitano la comunicazione tra assistenti e gli utenti, fornendo informazioni accurate agli accompagnatori, al fine di migliorare la qualità dei servizi sanitari.

L'utente deve solo indossare un braccialetto e inserire un nodo statico in ogni stanza della casa. Il sistema necessita anche di una connessione ad internet. Come si può intuire questo sistema funziona solo in ambiente domestico.

Softcare ottiene informazioni su come l'utente si occupa delle attività quotidiane, in questo modo si fornisce all'assistente sanitario le informazioni relative al benessere del paziente nel corso del tempo. Inoltre quando rileva situazioni pericolose istantaneamente contatta l'operatore sanitario, questo può essere effettuato anche mediante l'utilizzo, da parte del paziente, di un pulsante. Softcare offre anche un collegamento voce tra il paziente e l'assistente sanitario[40].

Conclusioni

In una popolazione con un numero crescente di persone anziane con malattie croniche, la necessità di fornire assistenza sanitaria personalizzata è la prima motivazione che spinge allo sviluppo della stessa.

Gli sviluppi tecnologici e l'informatizzazione dell'assistenza sanitaria e delle sue attività cambieranno la gestione delle malattie croniche in casa e negli ambienti quotidiani, riuscendo a fornire una assistenza pervasiva e in mobilità.

Questi sviluppi rimodelleranno le tecniche tradizionali della medicina modificando tutto l'iter sanitario dalla diagnostica alla definizione della patologia fino ad arrivare alla cura:

diagnostica e prevenzione con il "normale sistema sanitario" rilevare i dati per effettuare una diagnosi è molto complesso, bisogna recarsi in clinica e sperare che si manifestino i disagi. Come abbiamo detto spesso le rilevazioni effettuate in clinica non corrispondono con le reazioni che si hanno durante la vita quotidiana. Con questo sistema il paziente è monitorato nei propri ambienti, evidenziando la patologia di cui soffre nei dati che vengono rilevati.

Si migliora anche il benessere del paziente, infatti, il suo disagio è inferiore rispetto alle analisi in clinica, dato che può continuare a svolgere le sue normali attività.

Il rilevamento dei dati con questa tecnologia, in maniera più "superficiale" può essere effettuata anche per prevenzione, su persone che hanno un'alta probabilità di malattia per svariati motivi, fisici, genetici ecc.

definizione della patologia il medico dispone in tempo reale di una gran mole di informazioni, che con il "normale sistema sanitario" non dispone, riesce ad avere i dati relativi a tutta la giornata del paziente, a vedere cosa accade quando il paziente effettua una determinata azione. Per eseguire la diagnosi, a disposizione del medico c'è anche tutto lo storico del paziente ad aiutarlo. In questo modo si hanno diagnosi più tempestive, fondamentali per il paziente, riuscendo anche a ridurre i costi del sistema sanitario.

cura anche durante la cura questo sistema semplifica la vita del paziente e del medico. Infatti grazie ai dispositivi attuatori abbiamo la possibilità di effettuare una posologia personalizzata e nel contempo di continuare a rilevare i parametri del paziente. In questo modo il medico conosce l'effettiva reazione del paziente alle medicine, sa se la cura funziona a dovere.

Nel caso il medico voglia effettuare delle modifiche, direttamente mediante il sistema può comunicare con il paziente e modificare i parametri dei dispositivi attuatori.

L'evoluzione più evidente e importante che abbiamo trattato è l'utilizzo di reti di sensori e attuatori indossabili. Le BSN, connesse mediante dispositivi mobili, permettono la mobilità del paziente e la comunicazione diretta con il medico e con altri servizi sanitari.

Misurazioni estensive di informazioni biochimiche e biomeccaniche sono già disponibili negli ospedali, ma queste pratiche di diagnostica e monitoraggio sono generalmente limitate a brevi intervalli di tempo e condizionate da uno stato del paziente che non rispecchia le abitudini quotidiane reali della persona.

Fenomeni transitori, in questo modo, raramente vengono rilevati e con il monitoraggio continuo garantito dalle BSN può essere risolto questo problema. Un ulteriore obiettivo delle BSN è quello di fornire soluzioni di monitoraggio personalizzato, intelligente, context-aware e invisibile al paziente evitando restrizioni nelle attività o modifiche nelle abitudini.

CONCLUSIONI

Una soluzione ideale sarebbe riuscire a creare un "autonomic system" cioè un sistema capace di amministrarsi automaticamente, definendo le politiche generali di auto-gestione. Per questo IBM ha definito le seguenti quattro aree funzionali[49][48]:

- Auto-configurazione (configurazione automatica dei componenti);
- Auto-guarigione (ricerca e correzione automatica di difetti);
- Auto-ottimizzazione (monitoraggio e controllo automatico delle risorse per assicurare un funzionamento ottimale e rispettoso dei requisiti definiti);
- Auto-protezione (identificazione e protezione da attacchi arbitrari).

Approfondendo l'analisi dei sistemi esistenti, si possono trovare applicazioni in grado di integrarsi o essere ulteriormente sviluppate per cooperare con l'architettura da noi definita.

Ricordando che il nostro sistema prevede una comunicazione bidirezionale, notiamo che questa caratteristica è assente nei sistemi esistenti analizzati. Sarà questo un interessante campo di studio, perché riuscendo a fornire una comunicazione bidirezionale, si riesce a dare una assistenza sanitaria completa e personalizzata.

Non dobbiamo dimenticare l'aiuto che può dare alla sanità l'informatizzazione dei dati e delle pratiche sanitarie, possibile con la creazione dei servizi visti nel Capitolo 1:

- fascicolo sanitario elettronico;
- centro Unico Prenotazioni;
- certificati telematici;
- ePrescription;
- telemedicina.

Questi servizi possono semplificare e rendere più efficienti le procedure sanitarie, rendendo disponibili i dati ovunque. I medici e gli operatori sanitari, infatti, in questo modo possono controllare le cartelle cliniche del paziente in qualsiasi momento mediante l'accesso al database che conterrà l'intero "storico sanitario" del paziente, rendendogli disponibili una quantità di informazioni utilissime. Può inoltre avere una gestione migliore degli appuntamenti grazie al sistema di prenotazioni e prescrivere medicinali elettronicamente. Questo tipo di sistemi aiuterebbero a ridurre i costi e i medici ad essere più efficienti, avendo la possibilità di effettuare lavori in mobilità.

Inserendo le BSN in un contesto completamente informatizzato esse raggiungono la massima interoperabilità, riuscendo ad ampliare i servizi offerti. Dal punto di vista del paziente, mediante diverse applicazioni, esso potrà: ricevere i risultati delle visite effettuate, prenotare visite, ricevere i promemoria sulle visite da effettuare, avere promemoria sulle medicine da prendere e molti altri servizi che semplificano la vita.

Anche dal punto di vista del medico con queste evoluzioni si migliorano e si velocizzano tutti gli iter-sanitari. I medici con l'uso delle BSN hanno la possibilità di essere informati in real-time dello stato del paziente.

Il medico può utilizzare questo sistema per prevenire o per monitorare una malattia; se il monitoraggio è preventivo ha la possibilità rilevare la patologia riuscendo ad effettuare la diagnosi tempestivamente; se l'utilizzo della BSN è per il monitoraggio, il medico ricevendo i dati rilevati può intervenire in real-time grazie ai dispositivi attuatori (come abbiamo descritto nel Capitolo 4).

Le sfide ancora aperte includono la necessità di migliorare il design dei sensori, la miniaturizzazione dell'alimentazione, le tecniche di power harvesting[31] e le tecniche per il context-aware. A queste si aggiungono il trasferimento di dati sicuro, la tutela della privacy, l'usabilità e l'interoperabilità.

Il sistema sanitario in mobilità dovrà essere utilizzato da utenti, servizi di emergenza, medici e parenti; si dovrà quindi raggiungere un grande valore di sicurezza percepito da parte di tutte queste categorie.

CONCLUSIONI

Affinché il successo della "assistenza sanitaria in mobilità" sia garantito, un requisito su tutti deve essere rispettato: migliorare la vita dell'utente. Nel tentativo di assolvere questo requisito si noterà che in esso sono racchiuse gran parte delle difficoltà da affrontare.

Bibliografia

- [1] The Always Best Packet Switching architecture for SIP-based mobile multimedia services; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2011.06.025>, V. Ghini, S. Ferretti, F. Panzieri.
- [2] Ministero della Salute, ultimo accesso maggio 2012, <http://www.salute.gov.it/eHealth/homeEHealth.jsp>.
- [3] Ministero della Salute, ultimo accesso maggio 2012, <http://www.salute.gov.it/eHealth/paginaInternaMenuEHealth.jsp?id=2509&lingua=italiano&menu=iniziative>.
- [4] Nuovi Sistema Informativo Sanitario, ultimo accesso maggio 2012, <http://www.nsis.salute.gov.it>.
- [5] Fascicolo Sanitario Elettronico, Linee Guida, ultimo accesso maggio 2012, http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1465_allegato.pdf.
- [6] Sistema CUP, Linee guida nazionali, http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1577_allegato.pdf.
- [7] Comunicazione della commissione al parlamento europeo, 2008, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0689:FIN:IT:PDF>.
- [8] Agenda digitale europea, 2010, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0245:FIN:IT:PDF>.

BIBLIOGRAFIA

- [9] Presentazione del contesto europeo, ultimo accesso maggio 2012, <http://www.salute.gov.it/eHealth/paginaInternaMenuEHealth.jsp?id=2517&lingua=italiano&menu=inEuropeo>.
- [10] Malattie croniche, http://www.who.int/chp/chronic_disease_report/contents/Italian%20full%20report.pdf.
- [11] Il portale dell'epidemiologia per la sanità pubblica, <http://www.epicentro.iss.it/temi/croniche/croniche.asp>.
- [12] Prevenire le malattie croniche un investimento vitale, Organizzazione mondiale della Sanità.
- [13] mHealth for Development, Vodafone Fondation, http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf_website/assets/publications/technology/mhealth/mHealth_for_Development_full.pdf.
- [14] Changing the way the world connects Bluetooth 4.0: Low Energy; Joe Decuir, Standards Architect, CSR plc; IEEE Region 6 NW Area chair.
- [15] M-Health, New horizons for health through mobile technologies, http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241564250_eng.pdf.
- [16] Il futuro demografico dell'Europa: trasformare una sfida in un'opportunità, http://europa.eu/legislation_summaries/employment_and_social_policy/situation_in_europe/c10160_it.htm.
- [17] Comunicazione della Commissione Europea - Libro verde di fronte ai cambiamenti demografici:una nuova solidarietà tra le generazioni.
- [18] Wikipedia, mHealth, <http://en.wikipedia.org/wiki/MHealth>.
- [19] Wikipedia, eHealth, <http://en.wikipedia.org/wiki/E-health>.

BIBLIOGRAFIA

- [20] Mobile Health: The potential of mobile telephony to bring health care to the majority; Rafael Anta, Shireen El-Wahab, and Antonino Giuffrida.
- [21] mHealth New horizons for health through mobile technologies; World Health Organization.
- [22] A Mobile Agent Approach for Ubiquitous and Personalized eHealth Information Systems; Panagiotis Germanakos, Constantinos Mourlas, George Samaras.
- [23] Body sensor network – a wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring; Benny P.L., Lo Surapa Thiemjarus, Rachel King, Guang-Zhong Yang.
- [24] System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring; Chris Otto, Aleksandar Milencovic, Corey Sanders, Emil Javanov.
- [25] Wikipedia, Accelerometro, ultimo accesso giugno 2012, <http://it.wikipedia.org/wiki/Accelerometro>.
- [26] Wikipedia, Giroscopio, <http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>.
- [27] Wikipedia, Glucometro, ultimo accesso giugno 2012, http://en.wikipedia.org/wiki/Blood_glucose_monitoring#Continuous_blood_glucose_monitoring.
- [28] Wikipedia, pulsossimetro, <http://it.wikipedia.org/wiki/Pulsossimetro>.
- [29] e-textile <http://smartex.it>
- [30] lifeshirt <http://vivonoetics.com/product/sensor/lifeshirt>.
- [31] Wikipedia, power harvesting, ultimo accesso maggio 2012, http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_harvesting.

BIBLIOGRAFIA

- [32] Wikipedia, smartphone, ultimo accesso giugno 2012, <http://en.wikipedia.org/wiki/Smartphone>.
- [33] Wearable and Implantable Wireless Sensor Network Solutions for Healthcare Monitoring; Ashraf Darwish, Aboul Ella Hassanien.
- [34] Pacing Gastrico - Una nuova frontiera nel trattamento dell'obesità grave; Giorgio Gaggiotti, Fabio Di Matteo, Cristina Sirolla.
- [35] Wikipedia, Pacemaker, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pacemaker>.
- [36] Embedding Actuation Functionalities in a Wireless Structural Health Monitoring System; J.P Lynch, A.Sundararajan, H.Sohn, G.Park, C. Farrar, K.H.Law.
- [37] Wikipedia, MEMS, <http://it.wikipedia.org/wiki/MEMS>.
- [38] Medtronic, ultimo accesso giugno 2012, <http://www.medtronic.it/nostre-soluzioni/index.htm>.
- [39] Wikipedia, Deep brain stimulation, http://en.wikipedia.org/wiki/Deep_brain_stimulation.
- [40] Wikipedia, Vagus nerve stimulation, http://en.wikipedia.org/wiki/Vagus_nerve_stimulation.
- [41] Wikipedia, Spinal cord stimulation, http://en.wikipedia.org/wiki/Spinal_cord_stimulation.
- [42] Pompe per insulina, <http://www.galenotech.org/microinfusori.htm>.
- [43] Monitoraggio continuo della Glicemia, http://www.ildiabeteoggi.it/index.php?option=com_content&view=article&id=16.
- [44] Wikipedia, Defibrillatore cardiaco impiantabile, ultimo accesso maggio 2012, http://it.wikipedia.org/wiki/Defibrillatore_cardiaco_impiantabile.

BIBLIOGRAFIA

- [45] Defibrillatore impiantabile, ultimo accesso giugno 2012, http://medicinaeprevenzione.paginemediche.it/it/284/terapie/cardiologia/principali-terapie/detail_1211_il-defibrillatore-impiantabile.aspx.
- [46] Ministero della salute, Defibrillatore cardiaco impiantabile(ICD), ultimo accesso giugno 2012, http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pagineAree_88_listaFile_itemName_1_file.pdf.
- [47] Wikipedia, Android, <http://it.wikipedia.org/wiki/Android>.
- [48] Autonomic Wireless Sensor Networks; Shah Sheetal; Viterbi School of Engineering, University of Southern California.
- [49] Wikipedia, Autonomic computing, http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomic_computing.
- [50] Wikipedia, Bluetooth, <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
- [51] Wikipedia, Bluetooth low energy, http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy.
- [52] Bluetooth, www.bluetooth.com.
- [53] HealthService24, <http://www.healthservice24.com>.
- [54] MobiHealth, <http://www.mobihealth.com>
- [55] Sana, <http://sana.mit.edu>.
- [56] MIThrill, <http://www.media.mit.edu/wearables/mithril/overview.html>.
- [57] Softcare Project, <http://www.softcare-project.eu>.
- [58] Ambient Assisted Living, <http://www.aal-europe.eu>.
- [59] Sensor node mote, http://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node.

BIBLIOGRAFIA

- [60] Wikipedia, baby boomer, http://en.wikipedia.org/wiki/Baby_boomer.

Ringraziamenti

Seduta alla mia scrivania, occupata negli ultimi sviluppi della tesi, ancora non mi rendo conto di essere arrivata alla fine di questo percorso, forse perché sinceramente oramai non ci speravo più.

Quando ho iniziato a lavorare a questa tesi, scrivere i ringraziamenti mi sembrava un momento così lontano.

E invece, eccolo qui.

Non sempre è stato tutto semplice ma, sicuramente, l'esperienza universitaria è stata e rimarrà unica.

Se sono arrivata fino a questo punto il merito non è esclusivamente mio ma, soprattutto, di tutti coloro che mi circondano.

Il primo pensiero va, ovviamente, ai miei genitori, senza i quali non sarei mai potuta giungere a questo punto, non solo per il sostegno economico, che sicuramente è stato fondamentale, ma per l'aiuto indispensabile per superare i numerosi ostacoli incontrati nel cammino della vita e tutti quei momenti di stress, ansia e nervosismo che ne fanno parte. Durante il periodo dei miei lunghi studi universitari molte cose

sono cambiate, la mia famiglia si è ampliata, infatti mio fratello Paolo si è sposato. A loro Paolo e Claudia che va un mio immenso ringraziamento.

Come sempre accade nella vita le persone arrivano e persone ti lasciano. Io durante questa esperienza ho perso nonno Boss, una persona che tutti avrebbero dovuto conoscere. E' a lui che dedico tutti i festeggiamenti che seguiranno la mia sudata laurea, perché sono certa che sia la parte che gli sarebbe piaciuta di più.

Insieme a lui, un grazie di cuore va a tutti coloro che da lassù instancabilmente guidano il mio cammino.

Un ringraziamento va, ovviamente, a Michele che mi ha sopportato e supportato ogni giorno. E' con lui che ho condiviso questa esperienza, che oggi arriva al termine.

Alle amiche di sempre, quelle che spero di non perdere e con cui spero di continuare a divertirmi, va un grande grazie, insieme a tutti quelli che, in qualsiasi modo hanno fatto parte della mia esperienza e della mia vita.

Voglio concludere ringraziando chiunque mi abbia stappato un sorriso, perché la felicità è il carburante della mia vita.

Voglio farvi sapere che con il conseguimento della laurea, ho fatto un bel pieno.

Patrizia