

Medicina di precisione
e sistemi di supporto
alla decisione clinica:
opportunità di
miglioramento delle cure,
riduzione degli errori e
contenimento dei costi

*Precision medicine and
clinical decision support
systems: opportunities
for improved care,
errors reduction,
and cost containment*

MIRKO DE MALDÈ
m.demalde@lynkeus.com

AFFILIAZIONE
Lynkeus

ABSTRACT

Le tecnologie informatiche possono contribuire a cambiare radicalmente la pratica clinica, migliorando le prestazioni e gli *outcome* clinici. Di particolare interesse appaiono i più recenti sviluppi nell'ambito dell'intelligenza artificiale applicata alla medicina, con lo sviluppo di sistemi avanzati di supporto alla decisione clinica, capaci di offrire al personale medico accurate diagnosi differenziali e possibili opzioni terapeutiche personalizzate partendo dai dati specifici dei pazienti. L'adozione su vasta scala di tali sistemi potrebbe non soltanto incidere positivamente sulla riduzione dei fenomeni di spreco di risorse ed errori medici, ma anche contribuire a ridurre i costi del sistema sanitario in generale. Tuttavia, la piena adozione di siffatti strumenti nella pratica clinica apre delicate questioni etiche relativamente alle modalità di funzionamento di questi strumenti avanzati, al loro uso corretto e responsabile, al ruolo del medico e al rapporto di fiducia con il paziente.

ABSTRACT

Computer technologies can enable a radical change in clinical practice by improving performances and clinical outcomes. Of particular interest are the latest advances in the field of artificial intelligence applied to medicine, with the development of advanced clinical decision support systems capable of providing medical professionals with accurate differential diagnosis and personalized therapeutic options based on patients-specific data. Large-scale adoption of such systems could not only have a positive impact on the optimization of resources consumption, and on the reduction of medical errors, but could also help in reducing the healthcare system costs in general. However, the full adoption of such tools in clinical practice opens up delicate ethical issues, about how these advanced tools work, their proper and responsible adoption, about role of the doctor, and the trust relationship with the patient.

KEYWORDS

Sistemi di supporto alla decisione clinica
Clinical decision support systems

Medicina di precisione e personalizzata
Precision and personalised medicine

Intelligenza artificiale
Artificial intelligence

Errore medico
Medical error

Riduzione dei costi
Costs reduction

Questioni etiche ed epistemologiche
Ethical and epistemic issues

Che le tecnologie dell'informazione possano svolgere, e già oggi svolgano, una funzione importante in ambito sanitario è ormai un fatto accertato. Al di là degli alterni esiti in termini di effettiva ed efficace adozione di tali tecnologie, l'applicazione di tecnologie innovative in ambito sanitario è ormai chiaramente riconosciuta come un elemento vitale per la riforma dell'offerta di assistenza sanitaria, tanto per il miglioramento delle prestazioni (sia in termini di adeguatezza ed efficacia che di appropriatezza), quanto per la riduzione degli errori medici e l'incremento della sicurezza del paziente.

Di particolare interesse appare l'uso combinato della (finora inedita) quantità di informazioni sanitarie sul paziente, oggi disponibile in formato elettronico, e dei sistemi esperti basati su intelligenza artificiale, in grado di interpolare enormi moli di dati di letteratura e esperienze mediche pregressa e i dati personali del singolo paziente: i c.d. *Clinical Decision Support System* (CDSS, sistemi di supporto alla decisione clinica).

I CDSS potrebbero svolgere un ruolo determinante nel ridurre gli errori medici, un fenomeno connaturato alla pratica stessa della medicina,

Medicina
di precisione e
sistemi di supporto
alla decisione
clinica: opportunità
di miglioramento
delle cure, riduzione
degli errori e
contenimento
dei costi

Articoli

che rappresenta la manifestazione più immediata (e dolorosa) della fallibilità delle conoscenze finora raggiunte, dei limiti della comprensione dei meccanismi che regolano il funzionamento del nostro corpo, la sua interazione con i farmaci, la sua reazione a determinate patologie, la sua risposta alle terapie.

Tale fallibilità diventa evidente laddove si guardi alle allarmanti statistiche in merito: gli errori medici prevenibili persistono al terzo posto – secondi solo a malattie cardiovascolari e oncologiche – fra le cause di morte negli Stati Uniti, con 400.000 morti annue, più di mille al giorno, e un costo associato di mille miliardi di dollari all'anno (incluso costi diretti e indiretti) (James 2013). Ancora negli Stati Uniti, si stima una spesa di 19 miliardi di dollari l'anno per cure addizionali nel trattamento di complicazioni (Morley-Fletcher et al. 2016), e sempre gli errori medici sono in testa nella classifica di reclami per le cattive pratiche ambulatoriali con un costo medio di 300.000 dollari per reclamo (Castaneda et al. 2016). Si tratta di errori che – secondo la letteratura – potrebbero essere evitati nel 50-70% dei casi¹. A livello europeo, infine, gli errori medici sembrano occorrere nell'8-12% delle ospedalizzazioni, mentre nel Regno Unito si stimano 800.000 eventi avversi l'anno (pari al 10% dei ricoveri)².

Questi numeri, all'apparenza di difficile giustificazione, sono in realtà un indice molto chiaro delle difficili condizioni di lavoro dei medici, i quali si trovano ad operare – potendo contare solo su conoscenze limitate e frammentarie – in uno scenario in continua evoluzione, dove emergono sempre più opzioni tanto in ambito diagnostico quanto in quello dei trattamenti disponibili, così esponendosi al rischio di errori sia nella diagnosi, sia nella valutazione rischi-benefici di un dato trattamento. Si pensi solo alla enorme proliferazione della letteratura scientifica medica, che rende ormai del tutto inverosimile un aggiornamento completo del medico, che tenga conto di tutta la conoscenza necessaria e della casistica potenzialmente rilevante (Morley-Fletcher et al. 2016). Si stima che servirebbero a un medico 160 ore settimanali di lettura solo per tenersi aggiornato sulle ultime pubblicazioni (Mesko 2014).

Non sorprendono, dunque, le ultime innovazioni legislative in ambito medico, e segnatamente il ddl n. 2224, approvato dal Senato l'11 gennaio 2017, recante "Disposizioni in mate-

ria di responsabilità professionale del personale sanitario"³ il cui art.6 (Responsabilità penale dell'esercente la professione sanitaria) esclude la colpa grave dell'esercente la professione sanitaria nel caso siano state rispettate «le buone pratiche clinico-assistenziali e le raccomandazioni previste dalle linee guida»⁴, riconoscendo – implicitamente – i limiti e gli elementi di incertezza caratterizzanti la pratica clinica.

In un simile contesto, i CDSS possono concretamente contribuire a "mettere ordine", fornendo al medico le informazioni giuste, e talvolta vitali, al momento giusto, sopperendo ai (naturali) limiti degli uomini, e supportandoli nella ricerca della giusta diagnosi e della giusta terapia. L'introduzione di siffatti strumenti – tuttavia – apre questioni etiche ed epistemologiche assai rilevanti. Altrettanto controverso è il dibattito circa il potenziale ruolo di queste tecnologie nel contenimento di costi di servizi sanitari in continua crescita. Sembra ormai consolidata l'opinione secondo cui, in ambito sanitario, «l'innovazione ed il cambiamento tecnologico tendono ad incrementare i costi anziché ridurli» (Francesconi 2007: 14). Nondimeno, diversi studi stanno ormai mostrando il contrario, evidenziando invece il possibile contributo delle tecnologie informatiche nella riduzione dei costi sanitari.

Prima di discutere tali questioni, sarà opportuno introdurre brevemente tali tecnologie, e il loro potenziale impatto sulla pratica medica.

BIG DATA E SUPPORTO ALLA DECISIONE CLINICA – DALLA SIMULAZIONE ALLA DECISIONE OTTIMALE DI INTERVENTO

La combinazione di *big data* medici, intelligenza artificiale e simulazioni computerizzate promette di rivoluzionare la pratica clinica, migliorando gli *outcome* clinici (con possibili ricadute positive anche in termini di riduzione dei costi), e passando da una medicina "di reazione" ad una medicina fondata sulla prevenzione e la diagnosi precoce. Si tratta della cosiddetta "Medicina delle 4P: Predittiva, Personalizzata, Preventiva e Partecipativa" (Hood et al. 2008), che rimette al centro del processo di cura il paziente, con l'idea di adattare il trattamento medico alle sue caratteristiche specifiche. La medicina personalizzata consente di fuoriuscire dalla logica tradizionale, improntata a protocolli

standard uguali per tutti, per seguire un approccio centrato sul paziente specifico, superando l'approccio del *one size fits all*, nel quale i trattamenti medici sono di fatto concepiti per un "paziente medio" (di fatto inesistente), tramite l'uso sistematico e coerente di strumenti informatici in grado di produrre simulazioni *in silico*, ossia analisi predittive computerizzate, grazie al ricorso ai CDSS.

I sistemi di supporto alla decisione clinica sono strumenti in grado di incorporare la conoscenza clinica disponibile e i dati specifici dei pazienti così da ottimizzare i percorsi terapeutici, e rappresentano un elemento fondamentale per il pieno sviluppo della medicina di precisione, che consentirà di convertire la sempre maggior quantità di informazioni possibili in nuova conoscenza direttamente applicabile alla pratica clinica. Tali sistemi, in linea generale, permettono di arginare due errori clinici fondamentali: chiudere una diagnosi prematuramente e non considerare tutte le altre possibilità in campo (Castaneda et al. 2015).

Inoltre, l'uso combinato di dati personali e CDSS consente di classificare gruppi omogenei di pazienti con la cosiddetta stratificazione, sulla base delle loro specificità genetiche, ambientali e di stile di vita, del modo in cui reagiscono a una determinata patologia o a uno specifico trattamento (Timmerman 2013), così da poter sviluppare terapie più efficaci e a minor costo. L'impatto potenziale sulla pratica medica è enorme: si pensi solo all'ambito oncologico, ambito in cui la variabilità degli esiti costituisce un importante elemento di costo per i sistemi sanitari: la stratificazione dei pazienti permetterà di selezionare la terapia più appropriata per il singolo paziente, in seguito alla classificazione del paziente in termini di sua potenziale risposta a determinati trattamenti.

Fra le altre funzioni più interessanti dei CDSS si possono annoverare la possibilità di simulare un intervento tramite l'uso di modelli personalizzati prima di effettuarlo sul paziente, valutando le diverse opzioni in campo, o la possibilità di evitare esami diagnostici invasivi e rischiosi (spesso non necessari, come l'angiogramma coronarico, che viene sostituito con successo dal software *Heartflow*), o ancora valutare l'efficacia comparata di diverse opzioni di trattamento.

Ulteriori esempi d'uso dei CDSS sono (Berner 2009):

- medicina preventiva: immunizzazione, screening, prevenzione delle patologie;
- pianificazione o implementazione della terapia: linee guida per il trattamento data una specifica diagnosi, raccomandazioni sul dosaggio di farmaci, indicazione di interazioni farmaco-farmaco potenzialmente nocive;
- gestione post-acuzie: promemoria per il controllo degli effetti avversi di specifici farmaci;
- efficienza delle cure nel contesto ospedaliero: pianificazione atta alla minimizzazione dei giorni di ricovero.

Varrà la pena di menzionare alcuni risultati rilevanti in termini di applicazione dei CDSS: il primo riguarda il noto sistema sviluppato da IBM: *Watson*. Si tratta di uno dei sistemi di intelligenza artificiale più interessanti sviluppati di recente e basati sulle tecnologie di *deep learning*, in grado di fornire suggerimenti circa una possibile diagnosi differenziale. I primi esperimenti hanno indicato risultati molto incoraggianti: *Watson* si è infatti dimostrato molto più efficiente di un medico nel diagnosticare, per esempio, specifiche tipologie di cancro ai polmoni. Il secondo esempio riguarda un software analogo sviluppato da ricercatori nell'ambito del *Brain Residency Program* di Google, che ha dimostrato un'efficacia del 92% nella identificazione di cellule tumorali da un set di immagini fornite dal *Radboud University Medical Center*, contro il 72% raggiunto da specialisti umani (Ricci 2017).

Si tratta, dunque, di tecnologie che consentono ai medici di tenere il passo con il crescente numero di pubblicazioni scientifiche e informazioni di varia natura che si stanno rendendo via via disponibili in ambito clinico, cui si sommano i dati sanitari personali dei pazienti, sfruttando l'enorme capacità di questi sistemi esperti di reperire, analizzare e valutare enormi moli di dati e informazioni (si pensi solo che *Watson* riesce a leggere 200 milioni di pagine in pochi secondi).

Medicina di precisione e sistemi di supporto alla decisione clinica: opportunità di miglioramento delle cure, riduzione degli errori e contenimento dei costi

Articoli

TECNOLOGIE SANITARIE INNOVATIVE: NUOVI ALLEATI PER IL CONTENIMENTO DEI COSTI SANITARI?

La riduzione degli errori medici per il tramite dell'uso di CDSS potrebbe altresì rappresentare un'occasione per ridurre i costi dei sistemi sanitari. Infatti, i CDSS possono non soltanto condurre alla riduzione di interventi che finirebbero per essere non utili, ma anche alla riduzione degli errori medici, con conseguente riduzione dei costi associati a queste due possibili opzioni. In tal senso, si consideri la situazione italiana: in Italia fra i maggiori sprechi nel SSN si trovano sovra-utilizzo e sotto-utilizzo di prestazioni; le due voci combinate contano per circa il 50% sul totale degli sprechi, per un totale di 10,88 miliardi di euro l'anno su 24 miliardi di euro di sprechi totali ogni anno (Cartabellota et al. 2016):

- 7,42 miliardi sono attribuiti al sovra-utilizzo, ovvero la fornitura di servizi e prestazioni sanitarie inefficaci, inappropriate e dal *low value* (farmaci, test diagnostici, visite specialistiche, ricoveri ospedalieri, etc.);
- 3,46 miliardi sono attribuiti al sotto-utilizzo, determinato dall'inadeguato trasferimento nella pratica clinica e nell'organizzazione dei servizi di cura dei risultati della ricerca, ovvero interventi sanitari efficaci, appropriati e dall'*high value* che sarebbero invece disponibili. L'impatto di questo mancato trasferimento è negativo sotto diversi fronti, ritardando o impedendo la guarigione dei pazienti, aumentando le complicanze, e infine determinando ricoveri ospedalieri e interventi sanitari più costosi o meno appropriati ed efficaci.

Sotto un altro versante, i CDSS potrebbero portare a risparmi ben più importanti, laddove venissero adottati in maniera estensiva e sistematica: uno studio *McKinsey* (Groves et al. 2016) aveva stimato una riduzione nelle spese sanitarie fra i 300 e 450 miliardi di dollari, associato all'adozione su vasta scala delle migliori pratiche (*success stories*) di applicazione dei sistemi di supporto alla decisione clinica. Fra le maggiori voci troviamo:

- miglioramento attività di ricerca e riduzione dei costi dei *clinical trials* 40-70 Mld/€;
- coordinamento fra le strutture di cura 90-110 Mld/€;

- riduzione delle re-ammissioni inappropriate 50-70 Mld/€;
- ottimizzazione dei sistemi di pagamento 50-100 Mld/€;
- prevenzione e aderenza alle terapie 70-1000 Mld/€.

Sulla stessa linea, un recente studio di *Frost&Sullivan* indicava in un 50% la riduzione potenziale dei costi associata all'adozione dell'intelligenza artificiale in ambito sanitario, con un contestuale 40% di miglioramento dell'esito delle cure, in particolare ottimizzando la gestione delle cronicità e personalizzando i percorsi terapeutici. Infine, uno studio del 2013 ha notato come il sistema sequenziale di analisi delle opzioni e di processo decisionale, sviluppato applicando strumenti di intelligenza artificiale, portava notevoli risparmi rispetto alle normali modalità di decisione clinica, riducendo i costi per singolo caso da 497\$ a 189\$ (Bennet & Hauser 2013).

PROFILI PROBLEMATICI NELL'INTRODUZIONE DEI CDSS E QUESTIONI ETICHE APERTE

Come anticipato nel primo paragrafo, sebbene allettante, l'introduzione di tecnologie di supporto alla decisione clinica non è priva di profili problematici. Tuttavia, sarebbe sbagliato attribuire a dette tecnologie l'emergere di questioni etiche già esistenti e da sempre nell'ambito medico.

In parte, tali tecnologie informatiche reiterano problemi già noti alla pratica medica, fra cui il problema di prendere la "decisione giusta" in circostanze controverse o altamente incerte, o comprendere i processi cognitivi effettuati per giungere a tale decisione, esplicitando le modalità del "giusto ragionamento", e ponendo – in definitiva – il problema della valutazione del metodo e della validità del ragionamento clinico (Dal Monte 2015). In tal senso, in effetti, pur nella nuova epoca tecnologica, la medicina conserva ancora elementi di «indeterminatezza epistemologica che la conduce a varcare continuamente i confini tra scienza e arte, tra precetto e pratica, tra l'acclarato e l'impalpabile» (Dal Monte 2015: 2). In un simile contesto, i CDSS potrebbero contribuire a ridurre gli elementi di incertezza, allo stesso tempo ponendo nuove questioni relativamente alla comprensione e validità del ragionamento clinico.

Ciò è particolarmente vero specialmente laddove si pensi agli algoritmi di *deep learning* basati su intelligenza artificiale, i quali – in parte per volontà dei loro produttori e in parte per la natura stessa di queste tecniche innovative, – risultano essere “*black box*” i cui processi interni di analisi, ragionamento, e produzione delle conclusioni, rimangono in gran parte sconosciuti (e forse neanche inconoscibili) all’operatore umano (Brouillette 2017).

Tuttavia, sotto il profilo della responsabilità del medico, la comprensione del ragionamento clinico sottostante una determinata indicazione diagnostica o terapeutica appare un’esigenza ineliminabile: rendere il medico partecipe del ragionamento clinico svolto dall’intelligenza artificiale dei CDSS (e in grado di comprenderlo), senza lasciare spazio a *black box* e “codici segreti” (Goodman 2016). La partecipazione del medico a tale processo cognitivo è fondamentale, tanto in termini poi di futura responsabilità rispetto alla scelta, quanto in termini di miglioramento dei sistemi informatici stessi.

L’adozione dei CDSS pone – ancora in termini di responsabilità del medico – altri quesiti: come potrà un medico fare uso di uno strumento senza avere una piena comprensione del suo funzionamento? Quali potrebbero essere le conseguenze relativamente al rapporto di fiducia col paziente? In quali circostanze potrà essere considerato legittimo, da parte del medico, non tener conto di un suggerimento della macchina, pure accurato?

Sotto un diverso profilo, anche in presenza di un “CDSS infallibile”, quanto dovrà essere ritenuto legittimo il ricorso a soluzioni terapeutiche ritenute ottimali dal software, ma potenzialmente inefficaci sul lungo periodo o connesse a lunghi periodi di degenza, con conseguente deterioramento della qualità della vita del paziente? (Goodman 2016).

Appare in tal senso cruciale l’inclusione nel ragionamento della macchina di elementi relativi al benessere del paziente, anche in termini di qualità della vita residua, includendo parametri in grado di tener conto dell’elemento paziente “in carne e ossa”, e dando a tali parametri un qualche peso in vista della formulazione delle ipotesi conclusive circa il possibile trattamento, tenendo altresì conto dell’elemento del consenso (anche in vista dell’introduzione di nuove forme di con-

senso (Schmietow 2016), più appropriate per l’epoca digitale) (Goodman 2016).

I CDSS, d’altro canto, potrebbero tuttavia aiutare ad affrontare alcuni problemi della pratica medica odierna, con significativi elementi etici coinvolti. Si pensi al caso della reperibilità, accessibilità e facile consultazione delle cartelle cliniche e delle informazioni in esse contenute: non è infrequente avere a disposizione informazioni importanti relativamente a una determinata condizione del paziente, e non tenerne conto, dal momento che tale informazione è difficilmente accessibile. Sistemi informatici in grado di gestire le informazioni in modo automatico, estraendo l’informazione utile al momento giusto, potrebbero aiutare a superare questo limite pratico, che oggi è in grado di mettere il paziente anche in pericolo di vita.

Si pensi, poi, alla messa in commercio di nuovi presidi biomedicali (farmaci o macchinari), che nonostante entrano in commercio dopo complicate procedure di analisi e valutazione (comprensivi di lunghi, costosi e rischiosi trial clinici) e che nonostante la complessità di tali procedure sono testati solo su un minimo numero di pazienti rispetto a quanti necessiterebbero del tipo di trattamento che detti presidi offrono.

Anche in questo caso, le tecnologie informatiche, e in particolare gli *in silico clinical trial* (Viceconti et al. 2016), tramite l’uso di modelli e simulazioni computerizzate di organi, patologie, meccanismi fisio-patologici, possono aiutare a meglio determinare i target per i test umani, riducendo il rischio per i partecipanti al *trial* e contemporaneamente riducendo il ricorso a test su animali, allo stesso tempo offrendo l’opportunità di simulare coorti di pazienti virtuali, così da tenere conto dell’enorme variabilità della popolazione di riferimento per lo specifico trattamento o farmaco oggetto di valutazione.

Per concludere, gli ulteriori profili di problematicità etica connessi all’introduzione dei CDSS in ambito clinico, a ben vedere, non sono troppo diversi da quelli posti, ad esempio, dalla messa in circolazione delle c.d. *self-driving car*, programmate anche per prendere decisioni eticamente sensibili (p.es., in caso di situazione di pericolo, come il rischio imminente di investire un gruppo di persone, decidere di uscire di stra-

Medicina
di precisione e
sistemi di supporto
alla decisione
clinica: opportunità
di miglioramento
delle cure, riduzione
degli errori e
contenimento
dei costi

Articoli

da, schiantandosi e uccidendo il "conducente").

Capire secondo quali logiche l'intelligenza artificiale formula le proprie scelte non solo per delineare la necessaria demarcazione fra quello che può la macchina e ciò che invece deve essere oggetto di dibattito, e decisione, degli uomini, ma anche per capire dove la macchina può aiutare gli uomini a individuare, capire, e risolvere vecchie e nuove questioni etiche.

Tuttavia, sarà importante affrontare e risolvere tali questioni aperte prima che la maturazione tecnologica di questi sistemi finisca per rendere non più tollerabile il mancato ricorso a CDSS in grado di migliorare gli *outcome* clinici, così come oggi è impensabile non ricorrere agli strumenti di diagnostica per immagini, un tempo relegati agli ambienti di ricerca.

NOTE

1. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/patient-safety/data-and-statistics>
2. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/patient-safety/data-and-statistics>
3. Disposizioni in materia di responsabilità professionale del personale sanitario - Disegno di Legge approvato dalla Camera dei deputati il 28 gennaio 2016.
4. Ibid. Art. 6.

BIBLIOGRAFIA

- Berner E.S. (2009), *Clinical decision support systems: state of the art*, AHRQ publication N. 90069.
- Bennett C.C., Hauser K. (2013), «Artificial intelligence framework for simulating clinical decision-making: A Markov decision process approach», in *Artificial intelligence in medicine*, 57(1), 9-19.
- Brouillette M. (2017), «Deep Learning Is a Black Box, but Health Care Won't Mind», in *MIT Technology Review*, data di consultazione 4 giugno 2017, <https://www.technologyreview.com/s/604271/deep-learning-is-a-black-box-but-health-care-wont-mind/#comments>.
- Cartabellotta N., Cottafava E., Luceri R., Mosti M. (2016), *Rapporto sulla sostenibilità del Servizio Sanitario Nazionale 2016-2025*, Fondazione Gimbe, consultato online il 4 giugno 2017, http://www.rapportogimbe.it/Rapporto_GIMBE_Sostenibilit%C3%A0_SSN_2016-2025.pdf.
- Castaneda C., Nalley K., Mannion C., Bhattacharyya P., Blake P., Pecora A., Suh K.S. (2015), «Clinical decision support systems for improving diagnostic accuracy and achieving precision medicine», in *Journal of clinical bioinformatics*, 5(1): 4. <http://jclinbioinformatics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13336-015-0019-3>.
- Castaneda C. et al. (2015), Clinical decision support systems for improving diagnostic accuracy and achieving precision medicine, in *Journal of clinical bioinformatics* 5(1): 4.
- Dal Monte P.P (2015), «L'incertezza epistemica nella pratica medica.

Dall'etica all'organizzazione», in *Rivista Trimestrale Di Scienza Dell'amministrazione*, 4/2015, 63-106.

- Francesconi A. (2007), *Innovazione organizzativa e tecnologica in sanità. Il ruolo dell'Health technology assessment*, Milano, FrancoAngeli.

- Goodman K.W. (2016), *Ethics, medicine, and information technology: intelligent machines and the transformation of health care*, Cambridge University Press.

- Groves P., Kayyali B., Knott D., Kuiken S.V. (2016), *The 'big data' revolution in healthcare: Accelerating value and innovation*, McKinsey & Company.

- Hood L., Galas D. (2008), *P4 medicine: Personalized, predictive, preventive, participatory a change of view that changes everything*, Computing community consortium, www.cra.org/ccc.

- James J.T. (2013), «A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care», in *Journal of patient safety*, 9(3): 122-128.

- Mesko B. (2014), *The Guide to the Future of Medicine: Technology AND the Human Touch*, Webicina kft.

- Morley-Fletcher E., De Maldè M., Durst L., Zaccagnini D. (2016), «La sanità digitale: nuovi scenari e nuove professioni», in *Newsletter ASTRID su Sanità digitale, competenze digitali*.

- Ricci M. (2017), «Google AI detects breast cancer better than pathologists», in *Pharmaphorum.com*, data di consultazione 4 giugno 2017, <https://pharmaphorum.com/news/google-ai-algorithm-detects-breast-cancer-better-pathologists/#>.

- Schmietow B. (2016), «Ethical Dimensions of Dynamic Consent in Data-Intense Biomedical Research—Paradigm Shift, or Red Herring?», in *Ethics and Governance of Biomedical Research*, Springer International Publishing, 4: 197-209.

- Timmerman L. (2013), *What's in a Name? A Lot, When It Comes to 'Precision Medicine'*, Xconomy.

- Viceconti M., Henney A., Morley-Fletcher, E. (2016), «In silico

clinical trials: how computer simulation will transform the biomedical industry», in *International Journal of Clinical Trials*, 3(2), 37-46.

Medicina
di precisione e
sistemi di supporto
alla decisione
clinica: opportunità
di miglioramento
delle cure, riduzione
degli errori e
contenimento
dei costi

Articoli

Volume 2 numero 1 ■ giugno 2017

theFuture
ofScience
andEthics

33