

NUOVE DIREZIONI DI SVILUPPO E CAMBIAMENTI NEL SERVIZIO SANITARIO NAZIONALE

Daniele Giansanti (a), Serena Votta (b), Maria Rosaria Giovagnoli (b)
(a) Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma
(b) Facoltà di Medicina e Psicologia, Università Sapienza, Roma

Premessa

In un panorama sociale e culturale altamente tecnologico, anche la medicina è diventata una disciplina caratterizzata da una forte integrazione multidisciplinare. Al giorno d'oggi infatti gli avanzamenti tecnologici nel campo dell'*imaging* medicale hanno reso possibile l'apertura di nuove opportunità nell'*e-health*. Sfruttando le nuove applicazioni 3D avanzate, il mondo della radiologia (1-2) si apre a quello dell'informatica e dell'ingegneria comportando una evoluzione futuristica e affascinante con importanti ricadute per i pazienti e per la sanità in generale. Il file DICOM (*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*), ottenuto dalla diagnostica per immagini (3) effettuata tramite Tomografia Computerizzata (TC) o Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) (5-6), attraverso l'uso di nuove tecnologie può essere infatti utilizzato in numerose applicazioni innovative di *e-health*.

Applicazioni del file DICOM in *e-health*

Realtà virtuale e aumentata nell'*e-health*

Realtà virtuale e realtà aumentata

La Realtà Virtuale (RV) (7) rappresenta un ambiente interattivo tridimensionale generato da computer. Costituisce un settore della computer grafica, disciplina che riguarda la generazione e manipolazione di immagini per mezzo del computer, e condivide con la computer grafica i concetti di scenario, del punto di vista per l'osservatore e dello spazio visibile.

Nell'approccio classico alla RV, basato sulla geometria dei poligoni, i requisiti di interattività richiedono una ricostruzione in tempo reale (*rendering in real time*) delle scene, degli oggetti e degli eventuali personaggi, ad un elevato *frame rate*; in pratica la capacità di realizzare un flusso continuo di immagini al momento in cui esse sono richieste; mentre i requisiti di realismo richiedono immagini ad elevata risoluzione per mostrare i dettagli dell'immagine.

La RV richiede una immersione dell'utente in un mondo completamente fittizio, dove tutto quello che si percepisce è generato dal computer e dove l'utente si trova in un mondo distinto, isolato da quello reale. Il fine della realtà virtuale è, quindi, quello di simulare un ambiente reale per mezzo di tecnologie elettroniche, sino a dare a chi la sperimenta, l'impressione di trovarsi realmente immerso in quell'ambiente. Per immersione in un ambiente virtuale si intende la sensazione di essere effettivamente in tale ambiente e circondato da esso. È necessario che le interazioni avvengano in tempo reale.

La Realtà Aumentata (RA) si differenzia in modo deciso dalla RV. Le definizioni assegnate alla RA (8) sono molteplici. Una elettiva definizione di RA è stata pensata da Ronald Azuma nel 1997, pioniere del settore. Secondo lo studioso, la realtà aumentata è: la combinazione di mondo reale e oggetti virtuali, con i quali è possibile interagire in tempo reale, e che sono integrati in 3D nel campo visivo dell'utente.

La RA è, quindi, una particolare estensione della realtà virtuale che consiste nel sovrapporre alla realtà percepita dall'utente una realtà virtuale generata dal computer in tempo reale.

Si parla di estensione della realtà virtuale perché nella realtà aumentata l'utente continua a percepire l'ambiente reale, ma a questo possono sovrapporsi e integrarsi delle immagini digitali o dati prodotti *ad hoc* che arricchiscono la realtà di informazioni utili per portare a compimento situazioni complesse, e quindi lo scopo non è quello di sostituire il mondo reale, come tende a fare la RV, ma di estendere la realtà.

L'aggettivo "aumentato" sta a definire proprio l'aumento del livello di conoscenza offerto all'utente sulla realtà circostante: il mondo reale è virtualmente arricchito, con informazioni grafiche, sincronizzate e generate dal computer. Con la RA si aumenta la percezione dell'utente con l'ambiente fornendo informazioni visive che l'utente non potrebbe direttamente rilevare con i propri sensi. L'ambiente reale e virtuale sembrano coesistere e l'utente si può muovere liberamente nella scena, con la possibilità, altresì, di interagire con essa.

Prima di mettere insieme materiale reale e virtuale è ovviamente necessario raccogliarlo in un formato che ne permetta una veloce e corretta elaborazione in funzione del successivo passo di fusione. Tutto ciò fa sì che l'utente abbia la percezione di una singola scena, nella quale le due entità reale e virtuale sono pressoché indistinguibili.

La differenza fondamentale fra RA ed RV consiste in sostanza nel concetto di simulazione utilizzato. La RV ci induce tramite un sistema più o meno immersivo a pensare di vivere una certa realtà ingannando i nostri sensi; tale realtà è completamente generata dal computer.

La RA, differentemente, aggiunge livelli informativi di varia natura a ciò che i nostri sensi percepiscono. In poche parole si tratta di un potenziamento percettivo, basato principalmente sulla generazione di contenuti virtuali da parte di un computer e dalla loro sovrapposizione con la realtà.

Esperienze di realtà virtuale in radiologia digitale

Le attuali immagini diagnostiche (3) rappresentano fedelmente la realtà anatomica delle strutture esplorate. Le nuove modalità grafiche (7-8), come quelle 3D e virtuali, che esaltano aspetti spaziali difficilmente desumibili dagli esami di base (9), consentono di pianificare e attuare correttamente le terapie. L'impatto tecnologico delle attuali immagini diagnostiche è pertanto elevatissimo e costituisce un tassello essenziale dell'iter clinico-decisionale in medicina (2-4). Di seguito sono riportati alcuni esempi non esaustivi di esperienze di realtà virtuale in cui la diagnostica per immagini costituisce supporto della medicina e chirurgia. Un esempio è rappresentato dal progetto LAPIS (*Local Arts Promotion Integrated Strategy*) "La realtà virtuale al servizio della chirurgia del fegato". Il progetto, cofinanziato dalla Regione Puglia nell'ambito del bando Apulian ICT Living Labs – Programma Operativo Fondo Europeo Sviluppo Regionale 2007-2013, è un progetto il cui obiettivo è stato lo studio, la realizzazione e la sperimentazione di un sistema di navigazione spaziale per applicazioni di chirurgia addominale che permetta di assistere gli interventi in laparoscopia ottica, fornendo al chirurgo la visualizzazione 3D del distretto di intervento e le traiettorie degli strumenti operatori in tempo reale; in sostanza un sistema di navigazione per l'interventistica mini-invasiva che utilizza tecniche avanzate di elaborazione delle immagini e di realtà virtuale adattate alle specifiche esigenze della chirurgia del fegato. L'idea è stata quella di utilizzare un sistema di *rendering* spaziale che fornisce dettagli sul distretto di interesse tramite i quali le immagini da TC o da

RMN già disponibili possono essere ricostruite in formato 3D in tempo reale al fine di riprodurre l'anatomia del paziente istante per istante. Il chirurgo ha, mediante questo sistema, la possibilità di vedere in tempo reale la posizione di uno o più strumenti chirurgici in un ambiente virtuale tridimensionale ricostruito a partire dalla scansione tomografica dell'addome, con il vantaggio di aumentare il suo campo di vista rispetto alle procedure tradizionali o con guida endoscopica. L'obiettivo finale è quello di consentire al chirurgo di visualizzare strutture anatomiche difficilmente individuabili durante l'intervento con tecniche tradizionali, a tutto vantaggio della precisione dell'atto chirurgico. Un altro esempio è rappresentato dal *Besta NeuroSim Center* con il progetto *Inpatient Safety On Board (ISOB)*, istituito nel 2009 per aumentare i livelli di sicurezza in sala operatoria adattando e implementando gli stessi protocolli di sicurezza applicati da anni in aviazione in sala operatoria come nella plancia di comando di un aereo. Grazie alle metodologie sviluppate nel centro ogni passaggio di un intervento chirurgico è pianificato al millimetro grazie alla realtà virtuale, provato e riprovato al joystick prima di passare al paziente, per garantire al malato 'sotto i ferri' interventi di massima sicurezza con il minimo livello di rischio. I simulatori computerizzati si basano su quattro macchinari (3 simulatori hi-tech, più un visualizzatore che permette viaggi tridimensionali nei vari distretti del corpo umano) presentati come "i più avanzati disponibili al mondo". L'addestramento permette la formazione di *top gun* del bisturi in grado di eseguire con mano ferma tutta la gamma delle operazioni possibili: dall'asportazione di tumori alla riduzione di aneurismi, dalla craniotomia per l'ingresso nel cervello alla ventricolostomia contro l'idrocefalo. La realtà virtuale diventa quindi una scuola continua per il neurochirurgo e una garanzia per il paziente.

Realtà aumentata in radiologia digitale

Il campo della medicina è stato ed è tuttora uno degli ambiti di ricerca sulla RA più promettente. Un esempio è rappresentato dalle applicazioni di RA in microscopia. Attualmente i microscopi commerciali offrono la possibilità di visualizzare il contorno bidimensionale delle regioni tumorali sovrapposte alla visione reale. Tali contorni sono ottenuti segmentando le immagini TC o RMN del paziente durante un minuzioso lavoro radiologico preoperatorio. Questo risulta limitante per numerosi neurochirurghi poiché delega ad essi il compito di immaginare la struttura tridimensionale dei tumori. Presso l'*Institute for Process, Control and Automation* dell'Università di Karlsruhe (Germania) è stato realizzato il primo prototipo di microscopio in RA (10). È stato pertanto effettuato il primo esperimento di RA applicata alla chirurgia del fegato dove un'equipe medica è stata protagonista del primo intervento di rimozione di un tumore al fegato grazie all'uso di un iPad e di un software basato sulla RA. Grazie alle possibilità offerte dalla tecnologia, i medici sono stati in grado di creare un modello virtuale 3D del piano preoperatorio, solitamente disponibile su carta.

Questo software ha semplificato notevolmente l'operazione; dopo aver scattato una foto al fegato del paziente, l'applicazione ha sovrapposto all'immagine reale un'altra ricavata attraverso immagini digitali con la rappresentazione del sistema vascolare ramificato, le strutture principali del corpo e il tumore da rimuovere.

Navigazione virtuale e la stampa 3D del corpo umano

Grazie alla RV e alla RA si sta assistendo allo sviluppo in medicina sia di sistemi per la navigazione virtuale nel corpo umano, che hanno dato vita sia alla disciplina della diagnostica denominata "diagnostica virtuale", sia allo sviluppo di tecnologie specifiche dette "tecnologie per il virtuale".

Sono pertanto oggi resi possibili:

- navigazione virtuale nel corpo umano;
- addestramento dei chirurghi con metodiche aptiche;
- stampa di parti del corpo umano e/o la simulazione di impianti nel corpo umano.

Navigazione virtuale nel corpo umano

L'endoscopia virtuale è un'estensione delle tecniche di elaborazione tridimensionale delle immagini radiologiche digitali, che consente di visualizzare, da una prospettiva endoluminale, sezioni di organi o strutture cave simulando un endoscopio a fibre ottiche. La prospettiva dell'endoscopia virtuale viene ottenuta elaborando la differenza di attenuazione in TC e di intensità di segnale in RMN tra il contenuto del lume di strutture cave e le strutture o pareti di contenzione. I dati vengono segmentati sulla base di due valori soglia, uno inferiore e uno superiore e rappresentati o cancellati a seconda che siano all'interno o all'esterno dell'intervallo. I diversi tipi di elaborazione richiedono software dedicati. Il processo finale della elaborazione, una volta eseguita la segmentazione, richiede che le superfici esplorate siano rappresentate secondo una prospettiva endoluminale in modo da simulare una visione endoscopica. A questo scopo il programma di elaborazione grafica rappresenta le irregolarità del lume virtuale mediante una gradazione di luci e ombre tenendo conto della prospettiva scelta. Il realismo delle immagini viene ulteriormente accentuato dalla possibilità di modificare, entro certi limiti, l'ampiezza dell'angolo di osservazione virtuale, cioè il campo di vista. Da un punto di vista teorico tutte le strutture anatomiche cave, o meglio, tutte le strutture in cui i due tessuti o sostanze di differente densità o intensità di segnale delimitano cavità virtuali, possono essere esplorate mediante endoscopia virtuale. Allo stato attuale hanno riscontrato maggiori applicazioni cliniche lo studio (a) del grosso intestino, (b) dell'orecchio medio, (c) dei bronchi, (d) delle cavità sinusali, (e) delle vie biliari e (f) delle vie urinarie.

La Colonscopia Virtuale (CV) (9), ad esempio, è una metodica radiologica non invasiva, una procedura endoscopica condotta al computer utilizzando immagini di tomografia computerizzata. Essendo una simulazione computerizzata, a differenza della colonscopia tradizionale, la colonscopia virtuale viene condotta senza l'introduzione nel colon di sonde; la superficie mucosa del colon viene evidenziata come in una animazione grafica, identica a quella di un film realizzato al computer. Alla consolle TC si può effettuare una prima valutazione dei dati acquisiti ma le immagini TC sono poi trasferite su stazione di lavoro dedicata dove il software consente di simulare multiple prospettive tridimensionali del colon di tipo endoscopico. La CV viene condotta mediante navigazione in tempo reale facendo procedere l'endoscopio virtuale all'interno dell'intestino.

Allo stato attuale la CV rappresenta un esame integrativo e non sostitutivo dell'endoscopia tradizionale, tutt'ora espressione del *gold standard* di riferimento nella diagnosi, e spesso della terapia della patologia colo-rettale. La CV non intende quindi proporsi come sostituto dell'approccio endoscopico, specialmente nei pazienti sintomatici, in relazione all'impossibilità di procedere a manovre biottiche o escissionali; può e deve tuttavia considerarsi una recente e valida alternativa diagnostica nella ricerca delle neoplasie e dei polipi clinicamente rilevanti. Gran parte della letteratura attesta intorno al 95-100% la sensibilità della CV nei confronti delle lesioni polipoidi e neoplastiche di dimensioni attorno o superiori al centimetro.

Addestramento dei chirurghi con metodiche aptiche

Non c'è dubbio che la RV sia lo strumento ideale per il training del medico; può fornire infatti un valido strumento di esercitazione evitando di sottoporre il paziente al rischio dell'inesperienza. Ovviamente non tutte le procedure mediche sono simulabili.

Negli ultimi anni, la tendenza della ricerca è stata quella di concentrare le energie su procedure dedicate e sullo studio di base delle caratteristiche dei tessuti umani. Una nuova forma di educazione medica è diventata possibile realizzando dalle immagini radiologiche del paziente, attraverso l'elaborazione dei dati in ingresso (immagini DICOM), realistici modelli 3D degli organi al fine di ottenere una sorta di clone digitale del paziente reale e sperimentare vari scenari chirurgici senza che questi corra alcun rischio. La miniaturizzazione degli strumenti chirurgici e l'introduzione dei robot, inoltre, consentono di rendere le operazioni sempre meno invasive, aumentando l'efficienza del chirurgo e riducendo sensibilmente il periodo di convalescenza del paziente. Uno dei settori della robotica più attivi, dal punto di vista della ricerca, è quello rappresentato dalle cosiddette interfacce aptiche, o *display* aptici.

Aptico, dal greco *apto* che significa tocco, è un qualsiasi dispositivo comandato o che ha a che fare con il tatto.

Un'interfaccia aptica è quindi un dispositivo che permette di manovrare un robot, reale o virtuale, e di riceverne delle sensazioni tattili in risposta (retroazione o *feedback*).

Questo tipo di tecnologia è attualmente impiegata in moltissimi settori, e appaiono sempre più evidenti i vantaggi dell'uso congiunto anche con i robot in medicina per effettuare operazioni chirurgiche anche molto delicate o semplicemente per ridurre il rischio di infezioni. Un esempio è rappresentato dagli interventi chirurgici a distanza, ove il chirurgo, a volte lontano centinaia di chilometri può, indossando guanto e casco, visualizzare il corpo del paziente proprio come se fosse davanti a lui, potendolo operare senza alcun rischio. Attraverso la chirurgia robotica è possibile correggere in tempo reale un eventuale tremore della mano, effettuare movimenti precisi e monitorare la temperatura dei tessuti.

Tutto ciò si traduce in vantaggi concreti per il malato: il robot, effettuando incisioni sempre più piccole, riduce la possibilità di complicanze post-operatorie e il rischio di infezioni e garantisce un recupero in tempi più rapidi.

Stampa di parti del corpo umano e/o la simulazione di impianti nel corpo umano

La tecnologia CAD/CAM è una tecnica computerizzata che permette di ottenere un oggetto tridimensionale a partire da un disegno vettoriale eseguito al computer che sta riscontrando importanti potenzialità nell'*e-health*.

I due acronimi CAD e CAM stanno, rispettivamente, per *Computer Aided Design* e *Computer Aided Manufacturing*, ovvero disegno assistito dal computer e produzione assistita dal computer. Anche il *Computer Aided Equipment* (CAE) sta riscontrando importanti potenzialità nell'*e-health* come ad esempio nella simulazione pre-progetto. La realizzazione dei prodotti 3D è resa possibile grazie alla tecnologia CAD/CAM che consta di due fasi: progettazione (fase CAD) e produzione (fase CAM), che si ottengono grazie a computer che dialogano con macchine che realizzano il prodotto finale (1-6).

La fase di progettazione consiste nell'acquisizione delle immagini attraverso:

- la scansione realizzata con appositi macchinari (scanner), che è il metodo principale per la realizzazione dei modelli virtuali utilizzati nella tecnica CAD; il risultato è un modello virtuale, cioè un disegno in tre dimensioni, che riproduce fedelmente ciò che è stato scansionato;
- l'acquisizione dei dati DICOM ovvero dei dati provenienti da TC o RMN attraverso i quali è possibile ottenere una riproduzione virtuale, ad esempio, delle ossa del paziente, quindi di parti anatomiche non visibili direttamente.

Nata negli anni '60 del secolo scorso, questa tecnologia è oggi utilizzata nell'industria per la produzione di un'infinità di oggetti ed è prepotentemente entrata anche in vari ambiti come ad esempio quello dentale, nel quale è probabile che in brevissimo tempo diventi uno degli standard più diffusi.

Senza entrare nel dettaglio, si pensi solo che oggi, ad esempio, è possibile acquisire un'immagine della morfologia craniale del paziente attraverso la TC o un esame analogo, rilevare tramite scansione la morfologia delle arcate, mettere in masticazione i modelli virtuali e simularne i movimenti attraverso un articolatore, anch'esso virtuale, quindi realizzare la protesi con sistemi CAM fornendo al clinico tutto il necessario per una protesi a supporto implantare (dime e protesi finita) e/o un ambiente di simulazione chirurgica di un impianto di un dispositivo medico dentale particolare, ancora prima che sia stata praticata la prima incisione con il bisturi. La simulazione virtuale della chirurgia ha, quindi, come obiettivi quello di verificare che gli spostamenti programmati siano effettivamente realizzabili e quello, ad esempio, di ottenere una posizione delle arcate che sia in accordo con gli spostamenti chirurgici in modo da poter costruire uno *splint* che verrà usato durante l'intervento chirurgico. Una volta terminata ad esempio la progettazione CAD, il computer produce un file in stereolitografia (STL), che può essere utilizzato per la fresatura CAM o la stampa 3D. Grazie all'ambiente di simulazione di intervento CAE, utilizzando il file DICOM da TC e un database con librerie di dispositivi medici impianti dentali in STL è pertanto anche possibile minimizzare i rischi durante l'intervento. Il processo di stampa 3D è un sistema con il quale si realizza un dispositivo con una tecnica per addizione, stampandolo a strati. Il software di stampa trasforma l'oggetto 3D del file STL in una serie di strati singoli che poi stampa deponendo su un piano dei sottilissimi strati del materiale che costituirà l'oggetto. Alla fine si otterrà l'oggetto originale come se lo si ricomponesse con cura deponendone una fetta sopra all'altra. La sorprendente precisione della stampa 3D permette una precisione senza precedenti che può sfiorare la soglia di errore di circa 0,1 mm permettendo una perfetta compatibilità di inserimento con il corpo del paziente. La stampante 3D realizza le protesi come se fossero pezzi mancanti di un puzzle tridimensionale, così poi si incastrano esattamente dove i chirurghi asportano la parte d'osso malata. All'Istituto Ortopedico Rizzoli a partire dal 2015 sono stati eseguiti degli impianti basati su stampa 3D. Alcuni pazienti presentavano gravi problemi al bacino dovuti ad esempio a tumori. Le nuove ossa 3D in titanio, progettate su misura con i dati ottenuti dalla TC e dalla RMN, si adattano perfettamente all'anatomia di ognuno di loro, offrendo una migliore deambulazione.

Conclusioni e prospettive future

Grazie al favoloso sviluppo della radiologia digitale e delle tecnologie correlate sopra illustrate è oggi possibile ottenere nuovi prodotti/servizi di *e-health* in ambito sanitario, tali prodotti/servizi (P/S) possono essere di aiuto nella diagnostica attraverso processi di simulazione e/o di modellizzazione e vengono generati con applicazioni specifiche a partire dai seguenti input:

- file nello standard DICOM e all'occorrenza file nello standard STL;
- file nello standard STL provenienti da CAM come ad esempio nell'ortopedia e nell'odontoiatria.

Il lavoro si è focalizzato sull'analisi di questi P/S. Una possibile categorizzazione di questi P/S può essere la seguente:

- presentazioni di scenari di RV;
- presentazione di scenari di RA;
- integrazione con modelli CAM in STL;
- simulatori di implantologia (come nel caso dell'odontostomatologia);
- stampa 3D di organi quali ossa.

La disponibilità di tali nuovi P/S ci interroga sulla necessità di creare nuove figure professionali fortemente specializzate in questi settori di produzione di P/S CAE-CAD-CAM. Stanno nascendo attorno a queste innovazioni tecnologiche provenienti dalla radiologia digitale nuovi scenari lavorativi, nuove funzioni ospedaliere (con annesse connessioni funzionali e flussi operativi specifici) assieme a nuove figure professionali con relative *job description*.

Un esempio di una ipotetica nuova funzione ospedaliera è riportato in Figura 1. Tale funzione o Unità Operativa (UO) potrebbe essere denominata unità di Modellizzazione e Simulazione (MESI) e connessa ai processi manageriali e informativi darebbe come output P/S CAE-CAD-CAM.

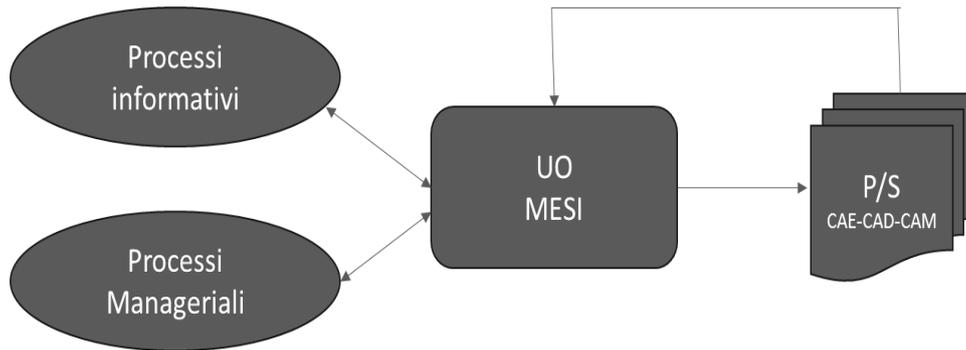


Figura 1. Proposta della funzione ospedaliera MESI

A titolo di esempio, ipotizzando una richiesta di stampa 3D delle ossa del cranio, tale flusso tra le funzioni ospedaliere coinvolte nello specifico potrebbe essere in estrema sintesi quello riportato in Figura 2.

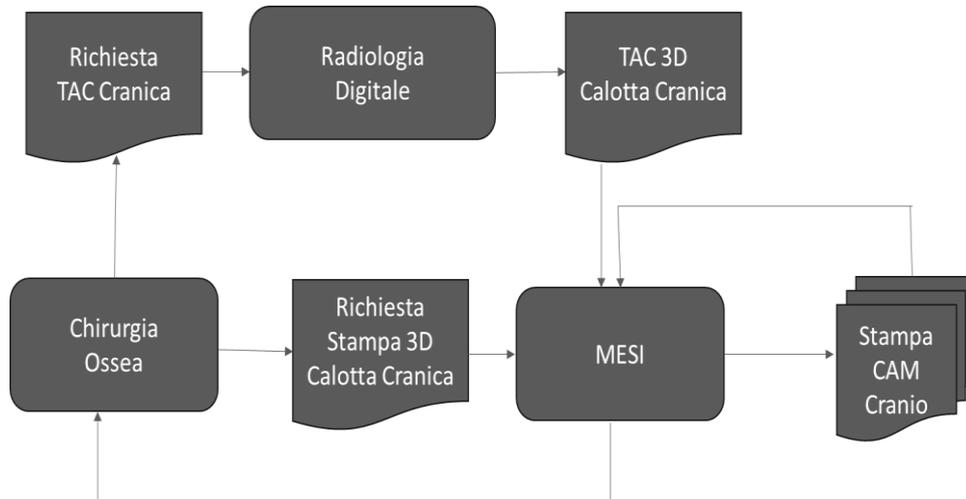


Figura 2. Flusso di attività associato a MESI nel caso della stampa 3D di un cranio

Un ulteriore esempio più articolato riguarda la generazione di un P/S CAE-CAD-CAM relativo alla simulazione in implantologia in odontoiatria.

Tale flusso prevede l'accesso ad un database di modelli STL forniti dai produttori di impianti dentali in odontostomatologia (Figura 3). Il flusso, pertanto, comprende, in questo caso tre ingressi alla funzione MESI dalle altre funzioni ospedaliere.

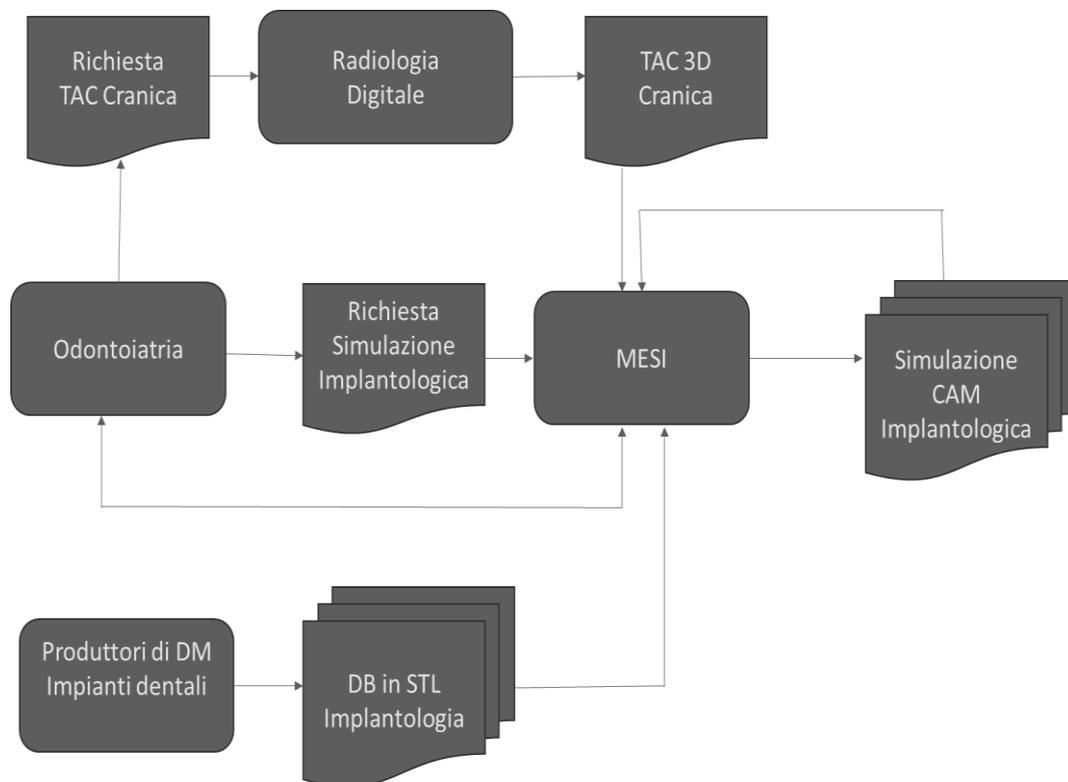


Figura 3. Flusso di attività associato a MESI nel caso della realizzazione di un P/S di simulazione CAM in implantologia

Bibliografia

1. Giovagnoni A, Golfieri R, Maggi S. PACS Principi generali e guida all'uso. *Giornale di Radiologia Medica* 2004;107(3, Suppl. 1):1-72.
2. Mazzucato F. *Anatomia radiologica, tecnica e metodologia propedeutiche alla diagnostica mediante immagini*. Roma: Ed. Piccin; 1997.
3. Capaccioli L, Villari N. *Elementi di diagnostica per immagini*. Bologna: Ed. Esculapio; 2014.
4. Faggioni L, Paolicchi F, Marinelli M. *Elementi di tomografia computerizzata*. Berlino: Ed. Springer; 2010.
5. Prokop M, Galanki M. *Tomografia computerizzata spirale e multistrato*. Bologna: Ed. Bonomo; 2006.
6. Lombardi M, Bartolozzi C. *Risonanza magnetica del cuore e dei vasi*. Berlino: Ed. Springer; 2004.

7. Morganti F, Riva G. *Conoscenza, comunicazione e tecnologia: aspetti cognitivi della realtà virtuale*. Milano: Led Edizioni Universitarie; 2006.
8. Di Martino AR. *Applicazioni di Interfacce aptiche e Realtà Aumentata in ambiti di manutenzione industriale, formazione, medicina e beni culturali*. [Tesi di dottorato]. Salerno: Università degli Studi di Salerno, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali; 2010.
9. Caprotti A. *La colonografia virtuale con TC multistrato*. Berlino: Ed. Springer; 2005.
10. Aschke M, Wirtz CR, Kunze S. Augmented reality in operating microscopes for neurosurgical interventions. In: Wolf LJ, Strock JL (Ed.). *1st International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering 2003, Proceedings*. Capri Island, Italy; March 20-22, 2003. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003. p. 652-5.