

Il Digital Twin come strumento di misurazione in ambito medico-sanitario

Andrea Sias

Abstract

La rappresentazione grafico-visuale ha da sempre accompagnato progettisti e studiosi nella misurazione di idee e oggetti della realtà. L'evoluzione delle tecniche di rappresentazione ha spinto sempre più verso una digitalizzazione dell'elemento grafico, tanto da costruire legami così forti tra la rappresentazione digitale e l'elemento reale tali che in alcuni casi consentono un adattamento della parte digitale in maniera autonoma nel tempo. Nello specifico lo sviluppo dei *Digital Twin* ha consentito di generare connessioni sempre più forti tra l'entità reale e quella digitale. Dalla sua nascita, in ambito industriale manifatturiero, le potenzialità delle differenti declinazioni del *Digital Twin* lo hanno portato a trovare valide applicazioni in diversi campi. L'evoluzione di questo strumento di rappresentazione ha subito profonde modifiche, sia sotto l'aspetto della costruzione del gemello digitale sia per quanto riguarda le finalità che persegue.

La possibilità di uno strumento che si adatta in maniera autonoma in relazione ad eventi esterni risulta essere particolarmente vantaggioso nella rappresentazione dei sistemi complessi, uno di questi è il sistema medico sanitario.

Nel contributo vengono presentate alcune ricerche di applicazioni del *Digital Twin* in ambito medico sanitario, mettendone in risalto le potenzialità riscontrate. Tuttavia, viene messo in luce come le ricerche si occupano di singoli oggetti in compartimenti stagni, mentre un approccio multiscalare potrebbe essere in grado di combinare le esperienze di *Digital Twin* in ambito medico dalla scala territoriale – per la gestione delle strutture – a quella del singolo apparato – per la cura e il monitoraggio di malattie specifiche.

Parole chiave

Digital Modelling, Cyber Twin, Digital Shadow, Digital Thread, Healthcare



Trasposizione digitale del corpo. Il Digital Twin personale. Elaborazione grafica dell'autore.

Introduzione

La rappresentazione si è sempre dimostrata uno strumento fondamentale per la realizzazione grafica di idee e progetti. Prima del linguaggio scritto e parlato quello grafico ha rappresentato l'unico strumento di comunicazione, di conseguenza le scienze grafiche sono in continua evoluzione per fornire strumenti per la rappresentazione sempre più all'avanguardia. L'introduzione del disegno digitale ha agevolato la trasformazione delle idee di progettisti e ricercatori: modelli, prima bidimensionali e successivamente tridimensionali, in grado di fornire una corrispondenza misurabile tra l'idea del progettista e l'oggetto realizzato. Successivamente con l'avvento di Internet e le tecnologie *IoT* questo legame si è ulteriormente rafforzato portando alla possibilità di realizzare veri e propri gemelli digitali. L'efficienza e l'accuratezza dei modelli digitali ha agevolato l'uso di questi non solo in ambito industriale e architettonico, ma anche in discipline apparentemente lontane da quelle più consolidate. L'applicazione delle diverse forme di *Digital twin* in ambito medico-sanitario forniscono uno strumento di misura alle diverse scale: da quella architettonica-edilizia, per il dimensionamento del progetto e più in generale per la gestione della struttura durante il suo ciclo di vita; a quella del corpo, per la misurazione dello stato di salute dell'individuo; fino alla scala del singolo organo, in cui il *Digital Twin* viene utilizzato come strumento per misurare gli effetti di nuovi farmaci o trattamenti su specifici apparati.

Dal *Digital Model* al *Digital Thread*. Le diverse forme di *Digital Twin*

La nascita del *Digital Twin* (DT) si fa risalire agli inizi del secolo al professore Michael Grieves della University of Michigan che ha definito questo strumento come una collezione di informazioni virtuali che descrivono prodotti fisici o non realizzati dal livello micro-atomico ad un livello macro-geometrico. Lo scopo dello strumento è quello di creare una relazione estremamente forte tra l'oggetto digitale e quello fisico tale che ogni informazione ottenuta dall'oggetto fisico possa essere ricercata e ottenuta dal modello digitale [Patrone et al, 2020]. Il primo sviluppo del DT è stato realizzato dalla NASA negli anni 60 durante la missione Apollo. Il "*living model*" è stato realizzato per fornire supporto alla navicella spaziale in seguito all'esplosione del serbatoio di ossigeno e il conseguente danno al motore principale. Questa forma di rappresentazione ha permesso ai tecnici della base terrestre di misurare l'entità del danno e guidare l'equipaggio della navicella nella riparazione [Allen 2021].

Vista l'efficienza di questo primo prototipo si sono sviluppate diverse forme di DT che prendono nomi differenti sulla base della corrispondenza tra il modello fisico e quello digitale in fase di realizzazione.

In letteratura è possibile riconoscere almeno quattro forme di DT in relazione al legame tra il modello digitale e il suo corrispettivo reale: il *Digital Modelling*, il *Cyber Twin*, il *Digital Shadow* e il *Digital Thread* (fig. 1).

La prima forma è il *Digital Modelling*, in cui viene effettuata la modellazione digitale di un elemento ex novo o di uno esistente, nel quale non è presente nessuna relazione, né interazione, tra il modello digitale e quello fisico. Questo costituisce, di fatto, una istantanea in un determinato periodo del prodotto fisico attraverso un supporto digitale.

Il *Digital Modelling*, è la forma più consolidata di rappresentazione, è utilizzato per il dimensionamento degli spazi, per la stima dello stato di conservazione di un manufatto o più in generale per la misurazione di un determinato oggetto in un determinato tempo.

La seconda, il *Cyber Twin*, integra il *Digital Modelling* attraverso l'integrazione dei dati provenienti da dispositivi *IoT* (*Internet of Things*), dispositivi che misurano molteplici parametri di un manufatto e che consentono di descrivere semanticamente l'oggetto reale e di relazionare le misurazioni attraverso un linguaggio comune [Bamunuarachchi 2021].

Aumentando le connessioni tra il modello fisico e quello digitale si è definita la terza tipologia chiamata *Digital Shadow*. Viene identificata la digitalizzazione con una connessione unilaterale: dal gemello reale a quello digitale. La caratteristica che contraddistingue il *Digital Shadow* è

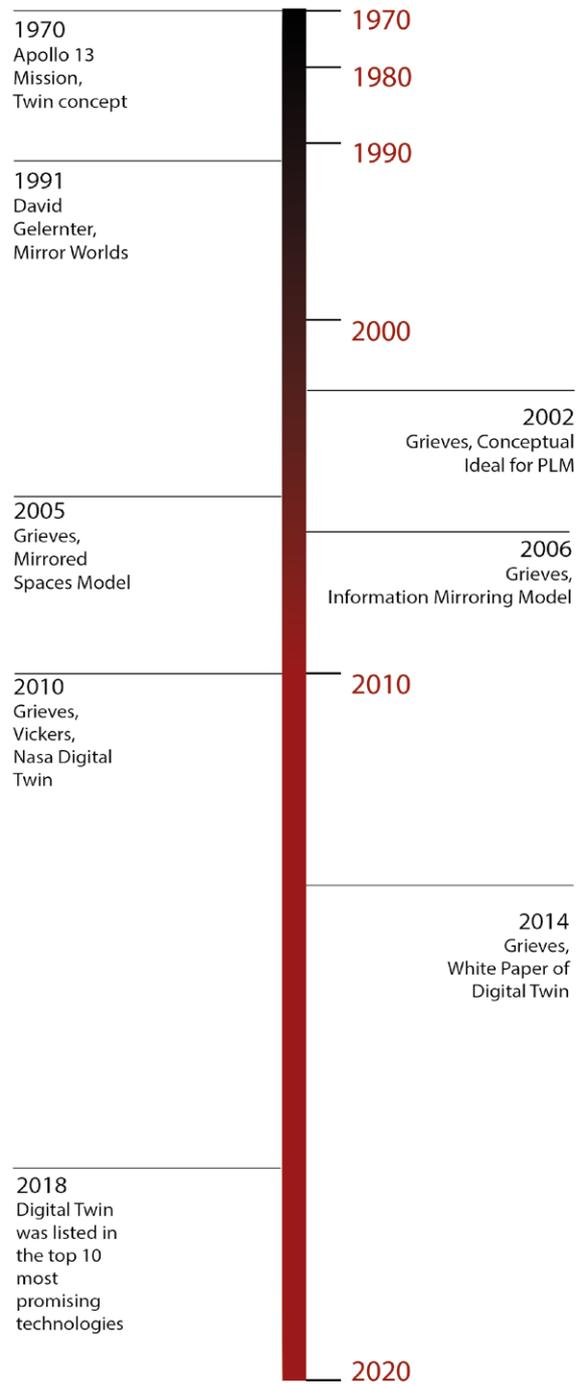


Fig. 1. Linea temporale, dalla prima forma di Digital Twin, dal 1070 con il "living model", fino ad oggi. Elaborazione dell'autore.

proprio la dinamicità del modello rendendo possibile l'adattamento del modello digitale in tempo reale, secondo frequenze significative, al modello reale.

La terza forma di *Digital Twin*, quella con un più forte legame tra le entità, è il *Digital Thread*, tradotto letteralmente in filo digitale, è caratterizzato dalla possibilità da parte dell'operatore di interagire con il modello reale attraverso quello digitale. Di fatto viene costruito un legame tra i due oggetti tale che entrambi mutuano la propria condizione adattandosi l'uno all'altro e viceversa. La creazione di questa connessione conferisce la possibilità non solo di misurare la condizione dell'entità digitale ma anche di intervenire in maniera istantanea nella regolazione delle misurazioni non conformi.

L'ultima innovazione apportata al gemello digitale riguarda la possibilità di implementazione con nuove tecnologie per la generazione di una maggiore interazione tra l'entità reale e il suo modello digitale. Infatti, attualmente si stanno sviluppando ricerche che sperimentano l'applicazione dell'intelligenza artificiale e dimostrano come questa possa migliorare la raccolta delle misurazioni effettuate all'interno del gemello fisico attraverso i dispositivi *IoT* rendendole uniformi e leggibili dall'operatore in maniera più efficiente. L'obiettivo di queste sperimentazioni è quello di rendere i dati accessibili in un unico luogo e attraverso un unico linguaggio. Contestualmente vi è il tentativo di rendere la ricerca di eventi anormali, diagnosi dei guasti automatizzata fornendo all'operatore gestionale molteplici alternative, generate dalla *AI*, per agevolare e rendere più efficiente la gestione del gemello reale (fig. 2).

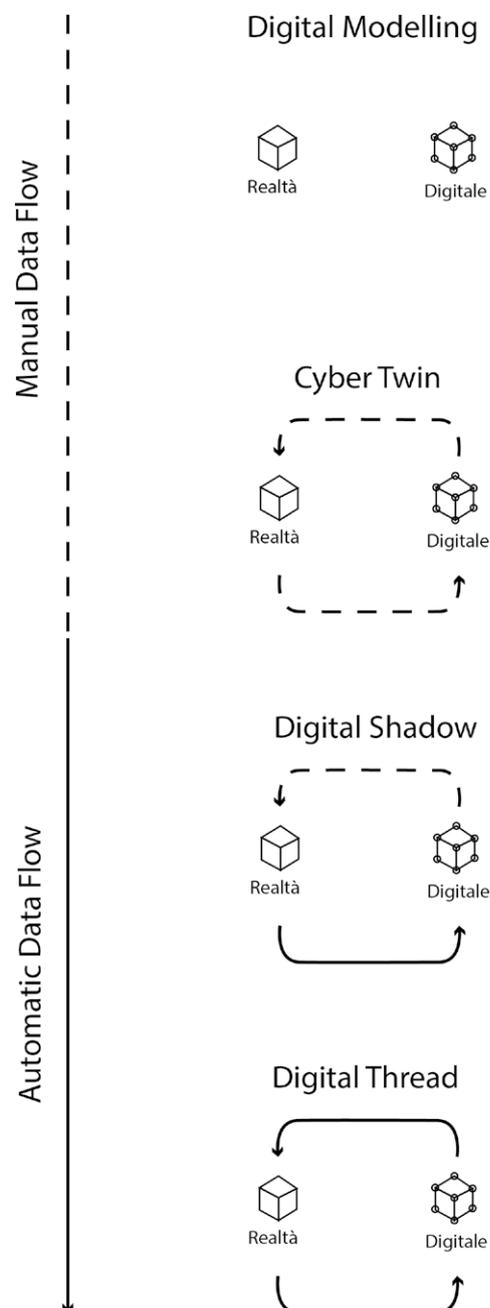


Fig. 2. Differenza tra le diverse tipologie di digital twin con il rapporto che queste hanno tra il mondo reale e quello digitale. Elaborazione dell'autore.

Le applicazioni dei diversi *Digital Twin* stanno trovando applicazione in molteplici campi, con lo scopo di gestire l'intero ciclo produttivo attraverso la riproduzione in digitale non solo del singolo oggetto, ma anche delle interazioni che esso ha con l'ambiente circostante, con l'obiettivo principale di misurare le possibilità di efficientamento nella produzione [Pang et al. 2021].

Nonostante l'analisi effettuata da Itxaro Errandonea [Errandonea et al. 2020] che mette in luce come la ricerca scientifica sul *Digital Twin* sia focalizzata sul settore manifatturiero, si stanno avviando sperimentazioni di forme di *Digital Twin* anche in ambiti come quello medico-sanitario (fig. 3).

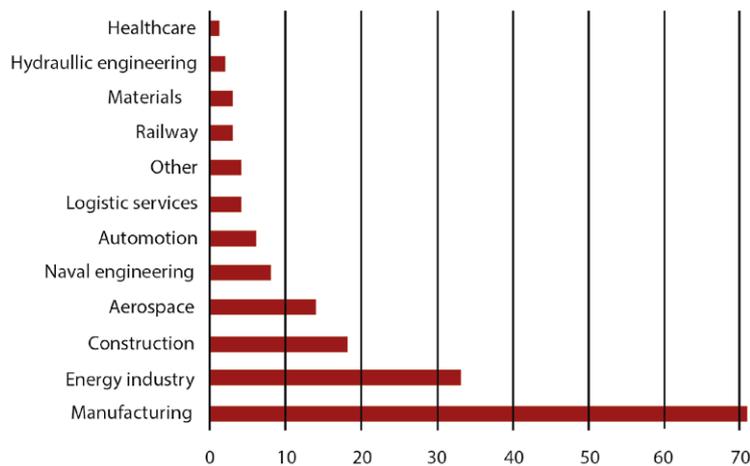


Fig. 3. Grafico rappresentativo delle pubblicazioni in ambito scientifico nei diversi settori di ricerca. Rielaborazione da Errandonea et al. (2020).

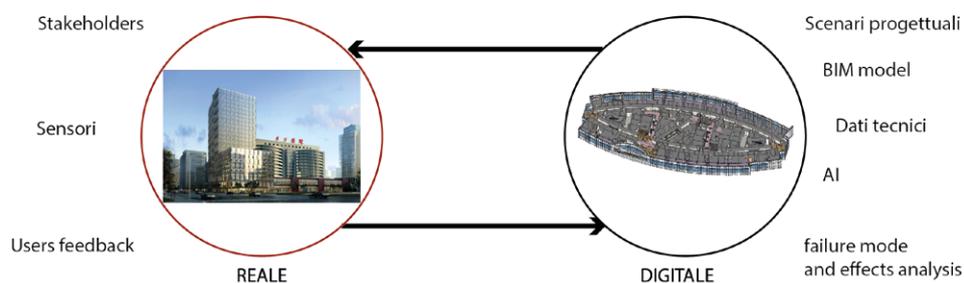
Le applicazioni del *Digital Twin* in ambito medico-sanitario

Il *Digital Twin* in ambito medico-sanitario si sta sperimentando su livelli differenti che vanno dalla scala architettonica, fino alla riproduzione digitale del singolo apparato.

Le necessità a cui deve rispondere il *Digital Twin* in ambito medico riguardano differenti aspetti, fra cui: la gestione e la manutenzione della struttura edilizia complessa; la raccolta e monitoraggio dei dati relativi allo stato di salute dei pazienti; e infine, la possibilità di utilizzare questo strumento come luogo virtuale di sperimentazione degli effetti dei nuovi farmaci sui singoli apparati.

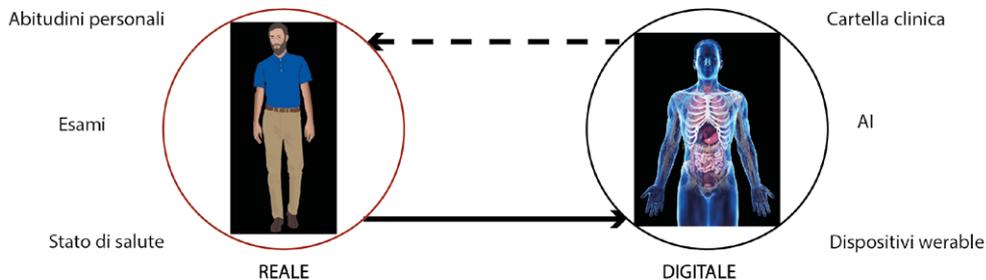
Per quanto concerne la gestione e l'efficientamento della struttura ospedaliera una valida sperimentazione è stata portata avanti presso Lo Shanghai East Hospital affiliato all'Università di Tongji [Peng et al. 2020] in cui, in occasione del restauro dell'ospedale, è stato realizzato un complesso sistema di misurazione e monitoraggio delle risorse. Il *Digital Thread* realizzato per la struttura si compone sostanzialmente di sette fasi: nella prima fase vengono raccolti i dati grezzi provenienti da circa 2000 sensori di vario genere che raccoglievano informazioni in tempo reale dalla struttura. Nella seconda fase i dati raccolti vengono semplificati e messi a disposizione di una Intelligenza Artificiale che ha il compito di misurare una condizione di perfetto funzionamento della struttura. Nella terza fase i dati semplificati vengono messi in relazione sia all'apparato grafico geometrico. Questa tipologia di raccolta e visualizzazione del dato fornisce ai gestori uno strumento di visual management [Tezel et al. 2009]. Questo apparato è stato successivamente implementato attraverso un sistema di allarme grafico che focalizza l'attenzione del gestore su una determinata anomalia, che viene analizzata dalla Intelligenza Artificiale che misura lo stato di alterazione rispetto al livello di equilibrio settato e propone possibili soluzioni. L'ultima fase del sistema è la restituzione da parte dell'operatore della scelta effettuata tra alternative suggerite così da allenare costantemente l'AI alle soluzioni più coerenti. (fig. 4)

Fig. 4. Legame bidirezionale del Digital Thread tra reale e digitale realizzato presso Lo Shanghai East Hospital affiliato all'Università di Tongji. Elaborazione dell'autore.



L'altro aspetto in ambito medico sanitario in cui si stanno applicando forme di *Digital Twin* è relativo alla digitalizzazione del corpo: questa forma prende il nome di *Human Digital Twin* (HDT) [De Benedictis et al. 2022]. Questo approccio è necessariamente definito come *Digital Shadow* in quanto le attuali sperimentazioni si limitano a raccogliere i dati provenienti dal mondo reale per la realizzazione di un modello digitale aggiornato in tempo reale (fig. 5). La creazione di questi modelli avviene grazie all'elaborazione dei dati provenienti principalmente da due sorgenti: da un lato le cartelle cliniche digitali, attraverso una pratica ormai consolidata; dall'altra dai dati provenienti da dispositivi di monitoraggio personali non invasivi che risultano essere sempre più accessibili.

Fig. 5. Legame unidirezionale del Digital Shadow tra reale e digitale che si sta sperimentando per realizzare gemelli digitali personali. Elaborazione dell'autore.



La realizzazione del HDT da parte della comunità scientifica medica ha come obiettivo quello di misurare, monitorare e migliorare lo stato di salute dell'individuo attraverso l'analisi delle condizioni esterne. Questo comporta un miglioramento delle cure più efficienti ed efficaci dei pazienti affetti da malattie croniche come il diabete, che richiede un monitoraggio continuo delle condizioni in tempo reale al fine di prevenire possibili complicanze legate alla malattia [Kim et al. 2015]. Inoltre, la valutazione delle procedure mediche per il trattamento delle malattie croniche diventa essenziale per migliorare la qualità della vita e ridurre i rischi e i costi associati a complicanze a lungo termine [Rivera et al. 2019].

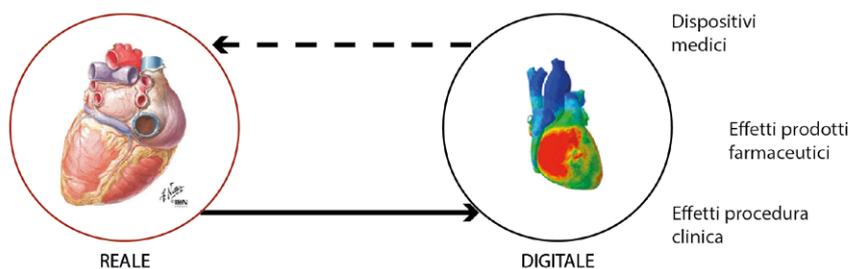
L'ultimo ambito di applicazione del *Digital Twin* in ambito medico-sanitario è quello relativo alla riproduzione dei singoli apparati. Anche in questo caso è opportuno definire il *Digital Twin* come *Digital Shadow* poiché anche in questo caso il legame che si crea tra il reale e il virtuale può essere solo monodirezionale.

Uno dei casi più avanzati di questa sperimentazione è SIMU-LIA Living Heart Project ancora in corso di sviluppo portata avanti da Dassault Systemes e dalla Food and Drug Administration (FDA), l'ente governativo statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici. Il progetto sta sviluppando una riproduzione digitale del sistema cardiaco umano, questo con l'obiettivo di fornire uno strumento per l'istruzione e

la formazione, la progettazione di dispositivi medici, i test, la diagnosi clinica e la regulatory science (fig. 6).

Attraverso un modello cardiaco 3D sarà possibile misurare e testare gli effetti di procedure cliniche o farmaci in un ambiente digitale sicuro volto a ridurre la sperimentazione sugli animali garantendo al tempo stesso la sicurezza e l'efficacia del trattamento.

Fig. 6. Legame unidirezionale del Digital Shadow tra reale e digitale che si sta sperimentando per realizzare gemelli digitali di singoli organi per il test delle nuove procedure mediche e dei nuovi farmaci come nel caso di SIMU-LIA Living Heart Project. Elaborazione dell'autore.



Conclusioni

Le possibilità di applicazione del *Digital Twin* in ambito medico sono molteplici. È possibile ritenere il HDT l'ultima innovazione della e-Health [Tan 2005], pratica in cui vi è la trasposizione in digitale dei dati clinici.

La creazione di ambienti virtuali per la misurazione medica porterebbe alla riduzione degli sprechi nel settore medico, alla riduzione dell'errore umano nella gestione e manutenzione della struttura e maggior tutele dell'essere umano durante la sperimentazione di nuovi prodotti farmaceutici o nuove procedure mediche.

Nonostante vi sia un notevole interesse e un riconosciuto vantaggio nell'utilizzo di questo approccio, risulta essere ancora poco sviluppata l'integrazione e comunicazione tra *Digital Twin* differenti. I casi studio precedenti dimostrano come ancora la ricerca sia impegnata nella costruzione di gemelli digitali in maniera settoriale: edificio, persona e organo. Tuttavia, sarebbe auspicabile, oltre che vantaggioso, avere a disposizione in un unico luogo virtuale le informazioni provenienti da un ambiente reale a scale differenti, questo potrebbe comportare una maggiore efficienza nel monitoraggio ed efficientamento delle attività svolte all'interno della struttura ospedaliera.

Riferimenti bibliografici

- Allen B. D. (2021). Digital Twins and living models at NASA. In *Digital Twin Summit*. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023699/downloads/ASME%20Digital%20Twin%20Summit%20Keynote_final.pdf>
- Bamunuarachchi D., et al. (2020, November). Cyber twins supporting industry 4.0 application development. In *Proceedings of the 18th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*. New York, 30 novembre - 2 dicembre 2020, pp. 64-73.
- De Benedictis A., et al. (2022). Digital Twins in Healthcare: an architectural proposal and its application in a social distancing case study. In *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, n. 10, pp. 5143-5154. <doi: 10.1109/JBHI.2022.3205506>
- Errandonea I., Beltrán S., Arrizabalaga S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. In *Computers in Industry*, vol. 123, <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103316>>
- Hun S.K., Jae H.C., Kun H.N. (2015). New Directions in Chronic Disease Management. In *Endocrinology and Metabolism*, vol. 30, n. 2, pp. 159–166.
- Pang T. Y., et al. (2021). Developing a digital twin and digital thread framework for an 'Industry 4.0' Shipyard. In *Applied Sciences*, vol. 11, n. 3
- Peng Y., et al. (2020). Digital twin hospital buildings: an exemplary case study through continuous lifecycle integration. In *Advances in Civil Engineering*, pp. 1-13.
- Rivera L. F. (2019). Towards continuous monitoring in personalized healthcare through digital twins. In *Proceedings of the 29th annual international conference on computer science and software engineering*. Toronto, 4-6 novembre 2019, pp. 329-335.
- Tan J. (a cura di) (2005). *E-Health Care Info Systems: An Introduction for Students and Professionals*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Tezel, B. A., Koskela, L. J., & Tzortzopoulos, P. (2009). Visual management—a general overview. In *Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V). Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology*, 20-22 maggio 2009, Istanbul, pp. 1-8.

Autore

Andrea Sias, Università degli Studi di Sassari, a.sias@phd.uniss.it

Per citare questo capitolo: Andrea Sias (2024). Il Digital Twin come strumento di misurazione in ambito medico-sanitario/The application of the Digital Twin in healthcare. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2075-2090.

The application of the Digital Twin in healthcare

Andrea Sias

Abstract

Graphic-visual representation has always accompanied designers and scholars in measuring ideas and objects of reality. The evolution of representational techniques has pushed more and more toward digitising the graphic element, so much so that such strong links have been built between the digital representation and the fundamental element that, in some cases, allow the digital part to be adapted independently over time. Specifically, the development of Digital Twins has enabled the generation of increasingly strong connections between real and digital entities. Since its inception in industrial manufacturing, the potential of the different declinations of the Digital Twin has led it to find valuable applications in various fields. The evolution of this representational tool has undergone profound changes, both in terms of the construction of the Digital Twin and the purposes it serves.

The possibility of a tool that adapts autonomously in relation to external events turns out to be particularly advantageous in representing complex systems, one of which is the medical health care system. The paper presents some research on applications of the Digital Twin in medical health, highlighting the potentialities. However, it highlights how the research deals with single objects in watertight compartments, while a multiscale approach might be able to combine Digital Twin experiences in the medical field from the spatial scale – for the management of facilities – to that of the individual apparatus – for the treatment and monitoring of specific diseases.

Keywords

Digital Modelling, Cyber Twin, Digital Shadow, Digital Thread, Healthcare



Digital transposition of the body. The personal Digital Twin. Graphic elaboration by the author.

Introduction

Representation has always proved to be a fundamental tool for the graphic realization of ideas and projects. Before written and spoken language, graphic language represented the only means of communication; consequently, the graphic sciences are constantly evolving to provide more advanced representation tools. The introduction of digital drawing facilitated the transformation of the ideas of designers and researchers: models, at first two-dimensional and later three-dimensional, that could provide a measurable correspondence between the designer's idea and the realized object. Later, with the advent of the Internet and IoT technologies, this link was further strengthened, leading to the possibility of making true digital twins. The efficiency and accuracy of digital models have facilitated their use not only in industry and architecture but also in disciplines seemingly far removed from the more established ones.

The application of digital twins in the medical-health field is a testament to their versatility. They serve as a measurement tool across various scales: from the macroscopic architectural-building scale, aiding in project sizing and overall structure management; to the human body scale, providing a means to measure individual health status; and even down to the microscopic scale of individual organs, where digital twins are used to gauge the effects of new drugs or treatments on specific body parts.

From Digital Model to Digital Thread. The different forms of Digital Twin

The emergence of the Digital Twin (DT) can be traced back to the turn of the century to Professor Michael Grieves of the University of Michigan, who defined the tool as a collection of virtual information describing physical or unrealized products from the micro-atomic level to a macro-geometric level. The tool aims to create a solid relationship between the digital and physical object such that any information obtained from the physical object can be searched and obtained from the digital model [Patrone et al. 2020].

NASA realized the first development of DT in the 1960s during the Apollo mission. The "living model" supported the spacecraft following the oxygen tank explosion and subsequent damage to the main engine. This form of representation allowed Earth-based engineers to measure the extent of the damage and guide the spacecraft crew in repair [Allen 2021].

Given the efficiency of this early prototype, several forms of DT were developed, which take different names based on the correspondence between the physical model and the digital model being made.

At least four forms of DT can be recognized in the literature with respect to the link between the digital model and its natural counterpart: the Digital Modelling, the Cyber Twin, the Digital Shadow, and the Digital Thread (fig. 1).

The first form is Digital Modelling, in which an item is digitally modelled from scratch or an existing one. There is no relationship or interaction between the digital model and the physical one. This constitutes, in effect, a snapshot at a given time of the physical product through a digital medium.

Digital Modelling is the most established form of representation. It is used for dimensioning spaces, estimating the state of preservation of an artefact, or, more generally, measuring a given object at a given time.

The second, the Cyber Twin, complements Digital Modelling through the integration of data from IoT (Internet of Things) devices, devices that measure multiple parameters of an artifact and allow for the semantic description of the real object and for the measurements to be related through a common language [Bamunuarachchi 2021].

Increasing the connections between the physical and digital models has defined the third typology, Digital Shadow. Digitization is identified with a one-sided connection: from the real twin to the digital twin. The distinguishing feature of the Digital Shadow is precisely the model's dynamism, making it possible to adapt the digital model in real-time, according to significant frequencies, to the real model.

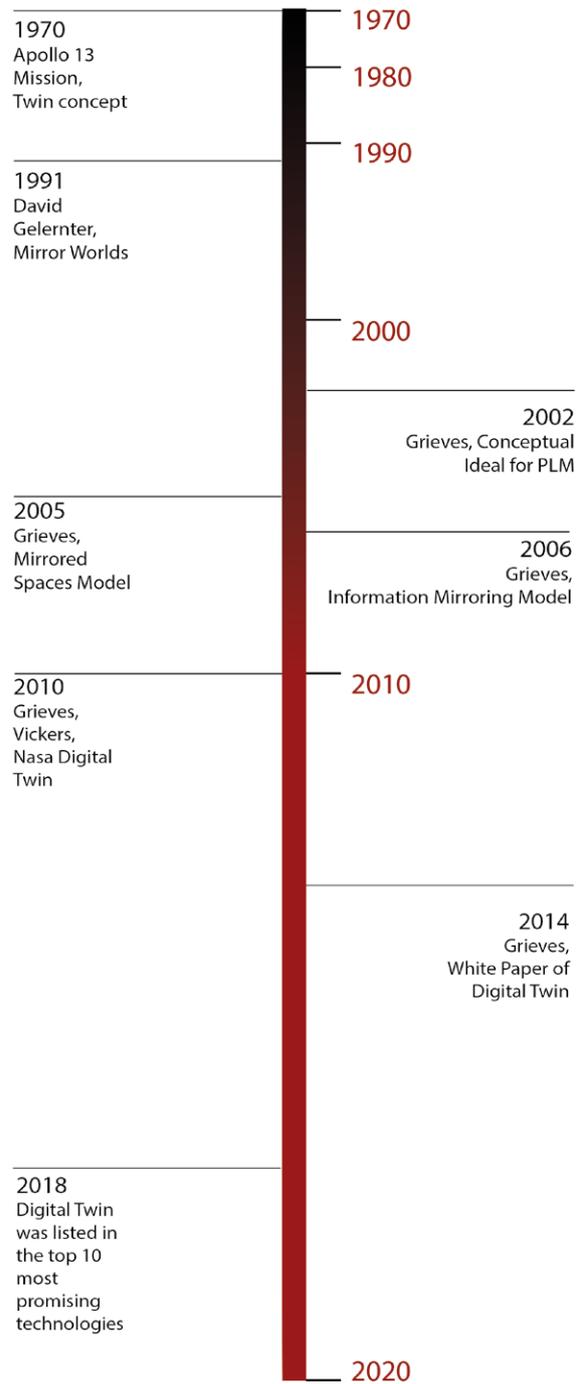


Fig. 1. Time line, from the first form of Digital Twin, from 1970 with the 'living model', to the present day. Elaboration by the author.

The third form of Digital Twin, the one with a stronger link between the entities, is the Digital Thread, literally translated into digital thread, which is characterized by the possibility for the operator to interact with the real model through the digital one. In fact, a connection is built between the two objects such that both mutate their condition by adapting to each other and vice versa. The creation of this connection confers the ability to measure the condition of the digital entity and intervene instantaneously in the adjustment of nonconforming measurements.

The latest innovation brought to the digital twin concerns the possibility of implementing new technologies to generate greater interaction between the real entity and its digital model. In fact, research is currently being developed that experiments with the application of artificial intelligence and demonstrates how it can improve the collection of measurements made within the physical twin through IoT devices by making them uniform and readable by the operator more efficiently. These experiments aim to make data accessible in one place and through one language. Contextually there is an attempt to make abnormal event search and fault diagnosis automated by providing the management operator multiple alternatives, generated by AI to facilitate and make the management of the real twin more efficient (fig. 2).

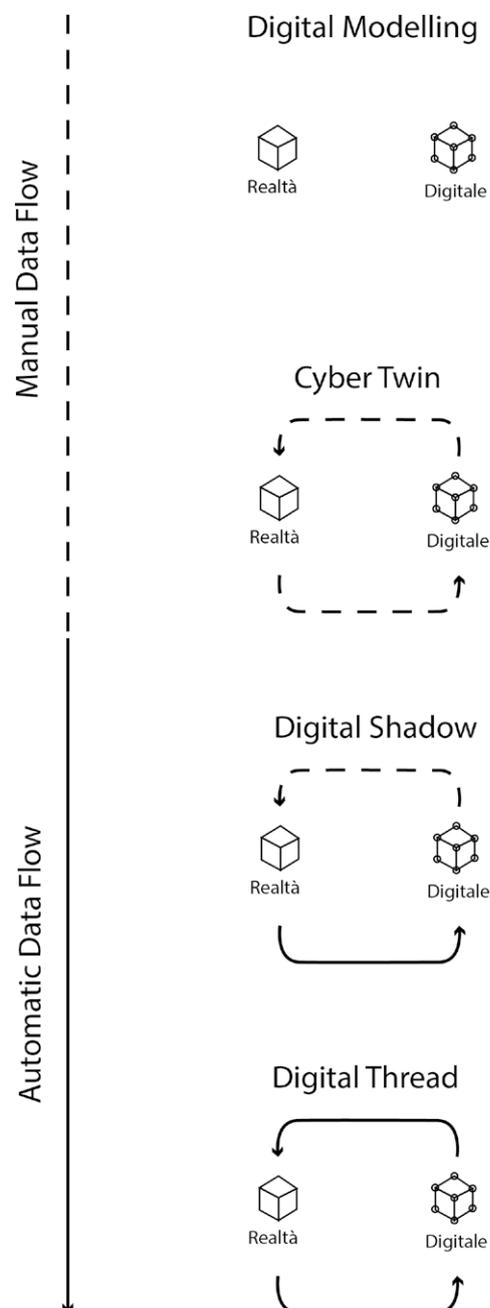


Fig. 2. Difference between the different types of digital twin and their relationship between the real and digital worlds. Elaboration by the author.

The different Digital Twins are finding applications in multiple fields. The aim is to manage the entire production cycle through digital reproduction not only of the individual object but also of its interactions with its surroundings, with the main objective of measuring the possibilities for efficiency gains in production [Pang et al. 2021].

While Itxaro Errandonea's analysis [Errandonea et al. 2020] rightly points out that scientific research on Digital Twins has been primarily focused on the manufacturing sector, it's important to note that the scope of this research is expanding. Experiments with forms of Digital Twins are now being initiated in diverse areas such as the medical-health sector (fig. 3), broadening the horizons of this exciting field.

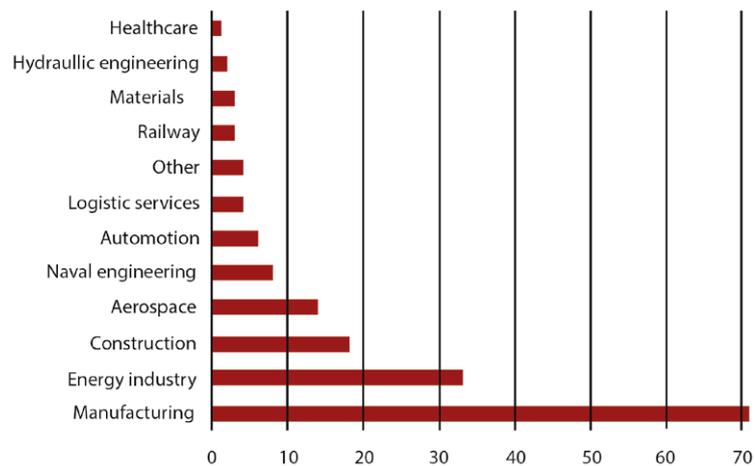


Fig. 3. Graph of scientific publications in different research fields. Reproduced from Errandonea et al. (2020).

Digital twin applications in healthcare

The Digital Twin in healthcare is being experimented with on different levels, from the architectural scale to the digital reproduction of the individual apparatus.

The needs to be met by the Digital Twin in the medical field concern different aspects, including the management and maintenance of the complex building structure, the collection and monitoring of data related to patient's health status, and finally, the possibility of using this tool as a virtual testing site for the effects of new drugs on individual apparatuses.

Regarding the management and efficiency of the hospital structure, a valuable experiment was carried out at The Shanghai East Hospital, affiliated with Tongji University [Peng et al., 2020], where a complex resource measurement and monitoring system was implemented when the hospital was renovated. The Digital Thread implemented for the facility consists of seven phases: In the first phase, raw data is collected from about 2,000 sensors of various kinds that were collecting real-time information from the facility. In the second phase, the collected data is simplified and made available to an artificial intelligence team tasked with measuring the perfect operating condition of the structure. The simplified data is related to the geometric graphical apparatus in the third phase. This type of data collection and visualization provides managers with a visual management tool [Tezel et al. 2009]. This apparatus was subsequently implemented through a graphical alert system that focuses the manager's attention on a given anomaly. Artificial Intelligence analyzes and measures the altered state compared to the set equilibrium level and proposes possible solutions. The last stage of the system is for the operator to constantly return the choice made between suggested alternatives to train the AI to the most consistent solutions (fig. 4).

The other aspect of medical health care where forms of Digital Twin are being applied relates to the digitization of the body: this form is called Human Digital Twin (HDT) [De Benedictis et al. 2022]. This approach is necessarily referred to as Digital Shadow in that current

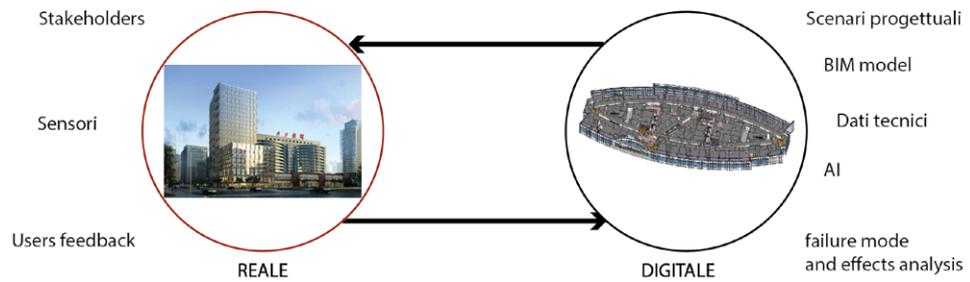


Fig. 4. Bidirectional Digital Thread link between real and digital realised at the Shanghai East Hospital affiliated with Tongji University. Elaboration by the author.

experiments are limited to collecting data from the real world for the creation of a digital model updated in real-time (fig. 5). The creation of these models is done by processing data mainly from two sources: on the one hand, digital medical records, through a well-established practice; and on the other hand, data from noninvasive personal monitoring devices that appear to be increasingly accessible.

The implementation of HDT by the medical scientific community has practical implications for patient care. It aims to measure, monitor, and improve the health status of individuals by analyzing external conditions. This approach leads to more efficient and effective care, particularly for patients with chronic diseases like diabetes, which require continuous real-time

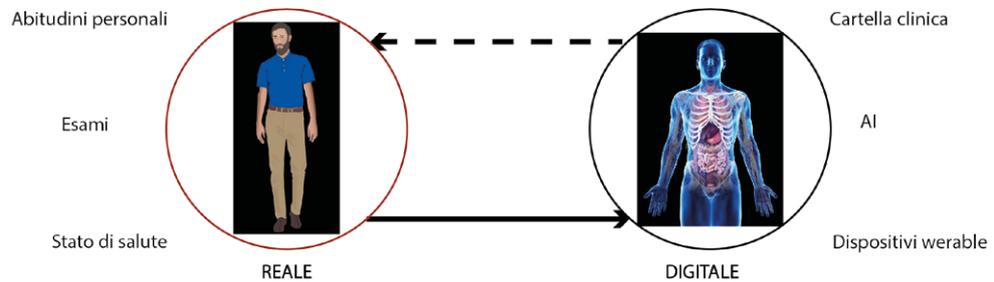


Fig. 5. One-way Link of the Digital Shadow between Real and Digital that is being Experimented with to Create Personal Digital Twins. Elaboration by the Author.

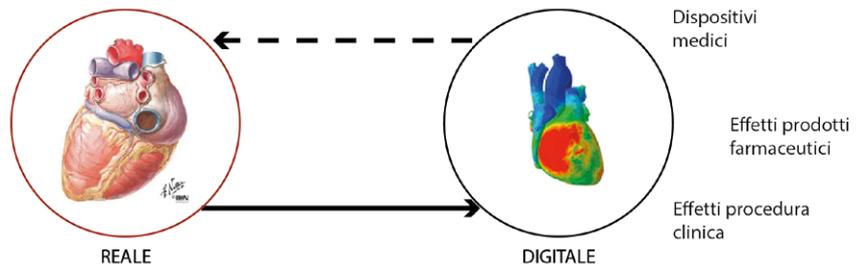
monitoring to prevent complications [Kim et al. 2015]. Furthermore, the evaluation of medical procedures for chronic disease treatment becomes crucial in improving quality of life and reducing long-term complications' risks and costs [Rivera et al. 2019].

The Digital Twin's potential in healthcare extends to the reproduction of individual systems. This application, also known as Digital Shadow, creates a one-way link between the real and the virtual. It offers a unique opportunity to study and understand complex systems in a controlled environment, potentially revolutionizing medical research and development.

One of the most advanced cases of this experimentation is the SIMU-LIA Living Heart Project, still under development, carried out by Dassault Systemes and the U.S. Food and Drug Administration (FDA), the U.S. government agency responsible for regulating food and pharmaceutical products. The project is developing a digital reproduction of the human heart system to provide a tool for education and training, medical device design, testing, clinical diagnosis and regulatory science (fig. 6).

Through a 3-D cardiac model, it will be possible to measure and test the effects of clinical procedures or drugs in a safe digital environment. This approach aims to reduce animal testing while ensuring the safety and efficacy of treatment.

Fig. 6. One-way linking of the Digital Shadow between real and digital that is being experimented with to create digital twins of individual organs for the testing of new medical procedures and drugs as in the case of the SIMULIA Living Heart Project. Elaboration by the author.



Conclusions

The possibilities for applying the Digital Twin in the medical field are many. HDT is the latest innovation in e-health [Tan 2005], a practice in which clinical data is digitally transposed. The creation of virtual environments for medical measurement would reduce waste in the medical sector, human error in facility management and maintenance, and human protection during the testing of new pharmaceuticals or medical procedures. While there is substantial interest and recognized benefits in the use of Digital Twins, there is a clear need for improved integration and communication between them. Current case studies demonstrate a sectoral approach to building digital twins: building, person, and organ. However, it would be beneficial to have information from various real-world environments available in one virtual space. This could lead to more efficient monitoring and streamlining of activities within the hospital facility.

References

- Allen B. D. (2021). Digital Twins and living models at NASA. In *Digital Twin Summit*. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023699/downloads/ASME%20Digital%20Twin%20Summit%20Keynote_final.pdf>
- Bamunuarachchi D., et al. (2020, November). Cyber twins supporting industry 4.0 application development. In *Proceedings of the 18th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*. New York, 30 novembre - 2 dicembre 2020, pp. 64-73.
- De Benedictis A., et al. (2022). Digital Twins in Healthcare: an architectural proposal and its application in a social distancing case study. In *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, n. 10, pp. 5143-5154. <doi: 10.1109/JBHI.2022.3205506>
- Errandonea I., Beltrán S., Arrizabalaga S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. In *Computers in Industry*, vol. 123, <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103316>>
- Hun S.K., Jae H.C., Kun H.N. (2015). New Directions in Chronic Disease Management. In *Endocrinology and Metabolism*, vol. 30, n. 2, pp. 159-166.
- Pang T. Y., et al. (2021). Developing a digital twin and digital thread framework for an 'Industry 4.0' Shipyard. In *Applied Sciences*, vol. 11, n. 3
- Peng Y., et al. (2020). Digital twin hospital buildings: an exemplary case study through continuous lifecycle integration. In *Advances in Civil Engineering*, pp. 1-13.
- Rivera L. F. (2019). Towards continuous monitoring in personalized healthcare through digital twins. In *Proceedings of the 29th annual international conference on computer science and software engineering*. Toronto, 4-6 novembre 2019, pp. 329-335.
- Tan J. (Ed.) (2005). *E-Health Care Info Systems: An Introduction for Students and Professionals*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Tezel, B. A., Koskela, L. J., & Tzortzopoulos, P. (2009). Visual management—a general overview. In *Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V). Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology*, 20-22 maggio 2009, Istanbul, pp. 1-8.

Author

Andrea Sias, Università degli Studi di Sassari, a.sias@phd.uniss.it

To cite this chapter: Andrea Sias (2024). Il Digital Twin come strumento misurazione in ambito medico-sanitario/The application of the Digital Twin in healthcare. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2075-2090.