Digital Twin per l'analisi dei processi

Uno strumento data-driven a supporto alle decisioni dell'Azienda Ospedaliera Universitaria Integrata Verona (AOUI VR)

Introduzione

La crescente complessità dei sistemi sanitari, unita alla necessità di garantire elevati standard qualitativi in un contesto di risorse economiche limitate, richiede alle direzioni strategiche strumenti nuovi per governare i processi clinico-organizzativi sulla base di evidenze oggettive.

Operando in un contesto caratterizzato da un'elevata complessità organizzativa, volumi di attività rilevanti ed una forte interdipendenza tra i diversi percorsi clinico-assistenziali, l'Azienda Ospedaliera Universitaria Integrata di Verona (AOUI VR) ha riscontrato l'esigenza di:

- disporre di una rappresentazione oggettiva e continuamente aggiornata dei percorsi realmente seguiti dai pazienti, superando analisi frammentate e statiche;
- identificare in modo sistematico inefficienze, colli di bottiglia e varianti di processo, per orientare interventi di miglioramento basati sui dati;
- disporre di una base solida per progettare riorganizzazioni aziendali riducendo sprechi e attività non a valore aggiunto;
- supportare le decisioni operative e strategiche attraverso la possibilità di simulare virtualmente scenari alternativi prima della loro effettiva implementazione.

Il progetto Digital Twin nasce quindi per rispondere alle esigenze sia della direzione strategica che dell'area clinica: passare da un modello decisionale prevalentemente esperienziale ad un modello *data-driven,* in cui il miglioramento continuo dei processi e l'eliminazione degli sprechi siano fondati su evidenze quantitative, in coerenza con gli indirizzi nazionali di digitalizzazione sanitaria (Missione 6 del PNRR). Diventa quindi necessario superare i limiti della reportistica tradizionale, che descrive lo stato dei processi ma spesso non è funzionale né all'individuazione delle cause di inefficienza né alla valutazione preventiva di possibili soluzioni.

Architettura del Digital Twin e primi ambiti applicativi

Per superare questi limiti, la soluzione adottata si basa sul paradigma del Digital Twin: una rappresentazione virtuale dinamica dei processi ospedalieri, costantemente alimentata in tempo reale dai dati del Sistema Informativo Ospedaliero (SIO InterSystems - TrakCare).

L'implementazione dell'architettura si articola su due livelli fondamentali:

1. Modellazione e ricostruzione dei processi: per ciascun ambito applicativo vengono individuati i dataset di riferimento, le mappature con i dati sorgente e gli identificativi univoci dei casi, essenziali per ricostruire correttamente la sequenza temporale e logica degli eventi clinico-assistenziali.

2. Data Quality e Governace dei dati: la qualità del dato costituisce parte integrante della soluzione. L'affidabilità del modello è garantita da un processo sistematico di validazione che comprende:

    - verifiche di completezza, accuratezza e coerenza delle informazioni;
    - controlli sugli identificativi, eliminazione dei duplicati, gestione delle anomalie temporali e verifica delle associazioni tra eventi e casi;
    - applicazione di regole esplicite per sequenziare correttamente le attività con il medesimo riferimento temporale;

- documentazione puntuale delle modifiche e manutenzione evolutiva delle viste dati che rendono tracciabile il loro trattamento.

Dal punto di vista architetturale, la soluzione si avvale di una Data Platform dedicata che acquisisce i dati dai sistemi sorgente, li trasforma e li struttura in tabelle di staging (STG) e all'interno di un Data Warehouse (DWH su SQL Server), per poi generare gli event log di processo e alimentare il Digital Twin.

La robustezza dell'architettura si poggia su un processo strutturato di Data Governance e Quality, che garantisce completezza, accuratezza, coerenza e consistenza temporale dei dati. Attraverso avanzate tecniche di process mining, i tracciati informativi (event log) generati dal SIO vengono trasformati in modelli di processo dinamici e interattivi, che permettono di ricostruire i percorsi effettivi dei pazienti, misurare con precisione tempi di attraversamento e frequenze delle attività e confrontare i flussi reali (as is) con quelli attesi (to be).

La soluzione integra due componenti fondamentali:

- La Piattaforma di Process Mining: per l'esportazione dettagliata dei processi, delle varianti di percorso, dei tempi di attraversamento e delle animazioni dei flussi;
- Dashboard Power BI dedicate: per la consultazione di indicatori chiave di prestazione (KPI) fruibili a diversi livelli organizzativi.

La piattaforma mette a disposizione degli utenti un ambiente di analisi avanzato che consente di esplorare le mappe di processo per volumi e tempi di attraversamento, analizzare le varianti di percorso più frequenti ed applicare filtri mirati (per periodo, attività, durata o caratteristiche del caso). È possibile, inoltre, sia esportare mappe e dataset per approfondimenti offline, che caricare al suo interno nuovi dati per analizzarli attraverso questo strumento.

L'accesso alla piattaforma avviene tramite credenziali aziendali e profili differenziati: super-utenti, con visione trasversale su tutti i percorsi, e utenti standard, con visibilità limitata al singolo ambito di competenza.

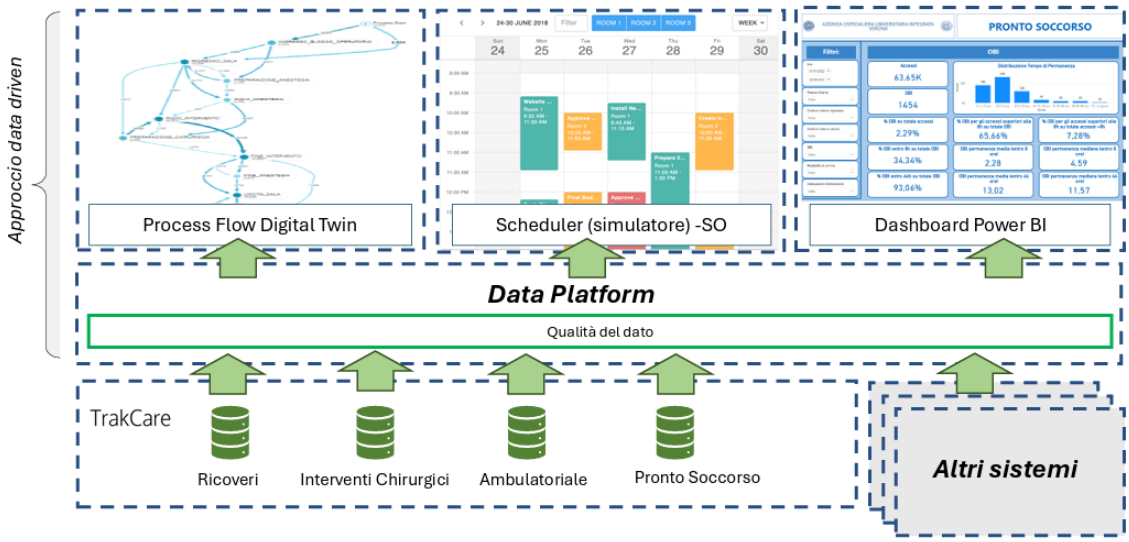


Figura 1: Schema infrastrutturale di integrazione tra SIO (TrakCare) e Data Platform del Digital Twin.

Il progetto si è focalizzato su tre ambiti ad elevata complessità e intensità di risorse, individuati come prioritari sia per la fase di sperimentazione che per la successiva messa a regime: il percorso chirurgico, il Pronto Soccorso e l'attività ambulatoriale. Per ciascuno di questi percorsi è stato implementato un modello di Digital Twin dedicato, accompagnato dalla relativa dashboard Power BI, operando parallelamente un coinvolgimento continuo e diretto di clinici e referenti gestionali:

- Percorso chirurgico: il modello collega l'intero iter del paziente (attesa, intervento e fase post-operatoria). La dashboard consente di esaminare indicatori relativi all'utilizzo delle sale, ai ritardi di avvio e ai tempi di turnover. Inoltre, l'integrazione con un simulatore di pianificazione permette di generare proposte settimanali ottimizzate, incrociando la disponibilità delle sale, le liste d'attesa e le durate stimate degli interventi.
- Pronto Soccorso: il modello ricostruisce il flusso dalla presa in carico iniziale fino alla dimissione o al ricovero, rendendo trasparenti i tempi di attesa, i colli di bottiglia e le situazioni di sovraccarico. Le analisi supportano eventuali riprogettazioni dei flussi e la valutazione preventiva di configurazioni organizzative alternative.
- Attività ambulatoriale: il modello mette in relazione la fase di prenotazione con quella di erogazione delle prestazioni, analizzando le attese e la gestione delle agende. La possibilità di visionare i dati per classe di priorità e per singola Unità Operativa permette di individuare gli squilibri tra domanda ed offerta, orientando l'allocazione efficiente delle risorse.



Figura 2: Esempio di mappa di processo del Digital Twin (destra) e di dashboard Power BI del percorso chirurgico, fase intra-operatoria (sinistra).

Per ciascun ambito applicativo, la piattaforma permette di effettuare analisi multidimensionali avanzate grazie all'applicazione combinata di molteplici filtri: temporali (per analizzare intervalli specifici), di processo (per isolare gruppi di attività, specifiche sequenze (tracce), volumi minimi di casi o durate) e per attributi (per segmentare i dati in base alle caratteristiche anagrafiche, cliniche o assistenziali del paziente). L'integrazione di questi strumenti consente il confronto diretto tra scenari operativi differenti e offre una visualizzazione animata del flusso dei singoli casi lungo l'intero percorso assistenziale.

Ad oggi sono presenti 235 indicatori, disponibili in modo continuo e disaggregato, che costituiscono la base informativa evidence-based per la programmazione di interventi Lean e per la verifica dei risultati nel tempo. Un esempio non esaustivo:

- Percorso Chirurgico: tempi di attesa per l'intervento, percentuale di pazienti gestiti entro/oltre la soglia di priorità, raw utilization e start time tardiness (ritardo nell'avvio) delle sale operatorie.
- Pronto Soccorso: Tempo dal triage alla presa in carico infermieristica e medica (suddiviso per codice di priorità), tasso di abbandono e distribuzione giornaliera ed oraria degli accessi.
- Attività Ambulatoriale: Tempi di attesa ex-ante ed ex-post rispetto all'erogazione effettiva delle prestazioni.

Il percorso intrapreso ha un orizzonte pluriennale basato su un ciclo di miglioramento continuo e sulla progressiva estensione del modello ad altri ambiti aziendali. A tal fine, per ciascun ambito sono operativi gruppi di lavoro dedicati che effettuano incontri periodici di analisi e affinamento dello strumento, sia per evidenziare e chiedere la risoluzione di eventuali *issue*, che per integrare nuovi indicatori, nuove visualizzazioni e/o pagine di dettaglio su informazioni rilevanti per il proprio percorso.

Valore Aggiunto, destinatari ed impatti attesi

L'adozione del Digital Twin segna un'evoluzione strategica per l'Azienda, sintetizzabile nei seguenti punti di forza:

- superamento dei report manuali e degli audit periodici in favore di un sistema aggiornato continuamente e in modo automatico dai dati del SIO;
- passaggio da una logica a "compartimenti stagni" per singola Unità Operativa a una visione integrata dell'intero percorso del paziente, con piena evidenza di varianti e deviazioni;
- affiancamento delle valutazioni qualitative con un solido impianto quantitativo basato sul *process mining*, in grado di tracciare con precisione tempi, sequenze e colli di bottiglia effettivi;
- evoluzione rispetto alle dashboard tradizionali grazie alla possibilità di simulare scenari alternativi e valutarne l'impatto prima dell'applicazione sul campo (come nel caso del simulatore di programmazione delle sale operatorie);
- transizione da interventi correttivi ex-post a un ciclo di ottimizzazione progressiva *evidence-based*, in cui ogni modifica organizzativa è guidata dai dati e non da ipotesi.

La soluzione è stata progettata per rispondere alle esigenze di due principali livelli aziendali:

- Direzione strategica e gestionale: utilizza il Digital Twin e le relative dashboard come strumento di supporto alle decisioni, alla pianificazione delle risorse, al monitoraggio delle performance e al coordinamento di interventi di riorganizzazione *Lean* sulla base delle evidenze.
- Clinici e Responsabili di Unità Operativa: dispongono di un ambiente di analisi autonomo per monitorare i percorsi di propria competenza, individuare le aree critiche e valutare in anticipo gli effetti di modifiche organizzative all'interno delle proprie realtà lavorative.

In linea con le evidenze emerse nei tre ambiti di sperimentazione, l'implementazione del sistema punta a generare impatti concreti su più livelli:

- riduzione delle tempistiche di attesa e di attraversamento dei pazienti nei percorsi chirurgico, ambulatoriale e di Pronto Soccorso;
- ottimizzazione delle risorse critiche: miglior saturazione di sale operatorie e agende, con sensibile riduzione di blocchi operativi e sovraccarichi;
- appropriatezza organizzativa, eliminando o riducendo le attività a non valore aggiunto, in piena coerenza con le logiche *Lean*;
- tempestività d'intervento: monitoraggio costante e proattivo delle criticità attraverso indicatori di prestazione (KPI) sintetici e sempre aggiornati;

- cultura aziendale *Data-Driven*: consolidamento di un linguaggio comune basato sui dati tra direzione e personale sanitario, ponendo le basi per l'estensione del modello ad ulteriori percorsi clinico-assistenziali.

Tempi e sostenibilità economica

Il progetto, avviato in una prima fase nel 2022, è stato successivamente sospeso in concomitanza con l'introduzione del nuovo Sistema Informativo Ospedaliero (TrakCare) all'interno dell'Azienda Ospedaliera. L'iniziativa è stata ripresa nel 2025 grazie ai finanziamenti della Missione 6 del PNRR, per poi giungere al collaudo nei primi mesi del 2026; si prevede una sua progressiva estensione a ulteriori percorsi assistenziali nel corso dei prossimi anni.

Dal punto di vista economico, la sostenibilità dell'iniziativa si basa su un preciso bilanciamento tra costi strutturali e benefici organizzativi. Lo sviluppo della *Data Platform* (infrastruttura, licenze DBMS, engine di *process mining* e BI), le attività per l'esposizione e il mantenimento delle viste dati e l'impegno del personale sanitario e gestionale interno costituiscono un importante investimento, a fonte del quale ci si attende un ritorno di diversi benefici economici. Questi derivano dalla drastica riduzione degli sprechi operativi, dall'ottimizzazione delle risorse ad alto costo (saturazione delle sale operatorie, efficientamento delle agende e del personale) e dal taglio delle inefficienze lungo i percorsi assistenziali.

Governance e competenze

Il progetto ha richiesto la costituzione di gruppi di lavoro multidisciplinari, all'interno dei quali convergono competenze interne ed esterne:

- Direzione Strategica: governance istituzionale, indirizzo strategico, definizione delle priorità e degli ambiti di applicazione, validazione dei KPI;
- Referenti clinici e gestionali: validazione clinica dei modelli, interpretazione operativa dei risultati e definizione degli interventi di miglioramento;
- Partner Specialistici/Sviluppatori: apporto di competenze avanzate in *Data Engineering* e *Data Science* dedicate all'integrazione con il SIO, alla gestione della Data Platform (*staging* e DWH), all'esposizione delle viste dati e all'applicazione delle regole di *data quality*. Costruzione dei modelli di Digital Twin, sviluppo e manutenzione delle dashboard Power BI;
- Fornitore SIO (InterSystems): partnership per la manutenzione e l'ottimizzazione delle viste TrakCare.

La collaborazione tra team interni aziendali e partner esterni ha costituito un fattore chiave per garantire l'affidabilità del dato e la sostenibilità nel tempo della soluzione.

Valore Strategico ed evoluzioni future

Il progetto si inserisce pienamente nelle direttrici di digitalizzazione della sanità individuate dal PNRR (Missione 6), rappresentandone un'applicazione concreta e replicabile all'interno di un'Azienda Ospedaliero-Universitaria di ad alta complessità.

L'infrastruttura realizzata costituisce la base per i futuri sviluppi strategici aziendali, ossia l'estensione del modello, replicando il Digital Twin su ulteriori percorsi clinico-organizzativi aziendali e per patologia, e diffondendo così una cultura *Data-Driven* a tutti i livelli dell'organizzazione, e il potenziamento del lato predittivo di questo strumento verso un *Value-Based Healthcare* (VBH) *Hospital*.