

Modelli per l'edilizia ospedaliera e sanitaria: studio dei grafi relazionali e disegno di schemi funzionali e distributivi

Giorgio Garzino
Maurizio Marco Bocconcino
Mariapaola Vozzola
Rosa Ferrauto

Abstract

Gli edifici ospedalieri sono strutture complesse, non solo in termini funzionali, distributivi e tecnologici, anche per la loro rilevanza sociale. Le strutture sanitarie sono oggetto di un processo di "umanizzazione" che ha portato il focus dalla cura della malattia al trattamento dell'individuo nella sua completezza e complessità, mettendo al centro di tutto il paziente. Edifici in continua evoluzione, gli ospedali necessitano di una progettazione che prenda in considerazione, già in fase di impostazione, le possibili trasformazioni future. È fondamentale prevedere una struttura flessibile, in grado di adattarsi ai cambiamenti del caso e che possa ospitare, senza modifiche strutturali, nuovi reparti e nuove funzioni. Questa adattabilità al cambiamento oggi viene ricondotta alla misura di una capacità, la resilienza, non materialmente tangibile. Regione Piemonte e Politecnico di Torino stanno cercando di definire modelli di progettazione ospedaliera a scala urbana ed edilizia da applicare a contesti territoriali specifici in un'ottica di riuso, sostenibilità ed efficienza. In questa occasione si ritiene interessante proporre un processo metodologico che consente di individuare, a partire dallo studio di alcuni casi, schemi funzionali e distributivi significativi e di derivare da questi opportuni strumenti grafici a supporto di possibili percorsi progettuali definiti come linee guida e di indirizzo.

Parole chiave

modellazione ospedaliera, network analysis, matrice costi origine/destinazione, matrici relazionali



Funzioni/Identificazione
grafo. Elaborazione degli
autori.

Introduzione

Regione Piemonte e Politecnico di Torino hanno dato avvio ad una collaborazione, attraverso un accordo di programma quadro, relativamente ad aspetti di studio, di ricerca progettuale, di trasferimento tecnologico e di formazione nel comparto sanitario ospedaliero. Gli ambiti riguardano attività di ricerca tese alla definizione di modelli progettuali, schemi e linee guida generali per le strutture sanitarie, adeguate alle contemporanee istanze di funzionamento e organizzazione per gli operatori, di comfort per i pazienti e capaci di soddisfare le istanze prestazionali connesse alle tematiche di resilienza post Covid e post Carbon. Sono previste anche attività di trasferimento tecnologico mediante supporto per la predisposizione di Documenti di Indirizzo alla Progettazione (DIP) comprensivi di Capitolato Informativo (CI) con i requisiti relativi alla modellazione informativa digitale e indicazioni per la redazione di Progetti di Fattibilità Tecnica ed Economica connessi alla specificità di singole strutture sanitarie, sia edifici di nuova realizzazione che presidi esistenti da rifunionalizzare. Particolare attenzione è data agli aspetti di sostenibilità energetica e ambientale, di uso razionale delle risorse e dei materiali, sia in fase di costruzione che di esercizio, con indicazioni volte anche a definire modelli digitali (*digital twin*) che consentano di gestire tutte le informazioni per la gestione, la manutenzione e lo sviluppo di servizi, a partire da una base dati alimentata attraverso un approccio multi tecnologico webDBMS-GIS-SCAN-BIM-IoT.

A questi due aspetti (definizione di modelli metaprogettuali e applicazione in contesti specifici da realizzare o da rifunionalizzare) si affiancano momenti di formazione per il personale delle Aziende Sanitarie Regionali e della Regione Piemonte, tra i quali i Direttori Amministrativi, i Responsabili delle Strutture Tecniche, i Direttori Lavori e i responsabili del progetto, i funzionari di area tecnica, nonché l'eventuale personale di supporto (amministrativo, sanitario e tecnico).

In questo contesto di ricerca metodologica e applicata, proponiamo due contributi al dibattito annuale UID. Il primo (cfr. contributo *Modelli per l'edilizia ospedaliera e sanitaria: studio delle relazioni e definizione delle modularità*) definisce moduli tipologici ospedalieri a partire dallo studio di modelli e riferimenti in letteratura. Il secondo, qui esposto, è relativo a un processo metodologico che consente di individuare schemi funzionali e distributivi significativi e di derivare da questi opportuni strumenti grafici a supporto di possibili percorsi progettuali, sempre a partire dallo studio di alcuni casi.

Gli ospedali hanno subito molte trasformazioni nel corso del tempo, oggi sono considerati degli edifici strategici, acquisendo importanza anche in ambito urbano e sociale. Il tema dell'umanizzazione ha contribuito a questo cambiamento, l'ospedale non è più solo una macchina per guarire [Belvedere 2011; Buzzi 2017; Capolongo 2006; Donati 2009], così come l'architettura dell'edificio non è puramente un valore aggiunto ma è vista come un elemento in grado di contribuire al benessere del paziente e di influenzare il processo di guarigione.

L'obiettivo della presente ricerca è quello di definire un processo semi-automatico, sostenuto dal disegno, che, a partire da dati in ingresso - tipologia di edificio, funzioni ospedaliere e relazioni topologiche - sia in grado di generare schemi di distribuzione, supportando le fasi di ideazione e di progetto. Per fare ciò sono state implementate delle analisi di rete che studiano la configurazione degli ospedali moderni per definire la matrice relazionale ideale da assumere come riferimento per la progettazione di nuovi complessi ospedalieri.

Il Ministero della Sanità nel Progetto di Ricerca Finalizzata (ex. art. 12 D.lgs. 502/92) ha definito delle linee guida da seguire per la progettazione ospedaliera, al fine di ottenere delle strutture ad alta qualità ed efficienza. Questa ricerca altro non è che una elaborazione del modello di ospedale ideale proposto dal Ministro Umberto Veronesi con un gruppo di esperti coordinati dall'architetto Renzo Piano (modello *Piano-Veronesi*). I risultati dello studio qui illustrato sono ottenuti dalla scomposizione del modello di ospedale ideale in aree funzionali omogenee (AFO), introdotte dalla Legge 595/85; per ognuna di queste AFO sono state definite le connessioni funzionali e relazionali. In realtà la normativa non definisce un elenco specifico di tali aree, bensì le caratteristiche che esse devono avere, la suddivisione in AFO non è rigidamente data. Gli strumenti della ricerca sono riconducibili a due matrici generatrici (tabelle ordinate di elementi che consentono letture per righe o per colonne): la matrice

delle relazioni funzionali e la matrice delle relazioni spaziali. Tali matrici hanno alcuni limiti: il primo è sicuramente legato all'aggiornamento dei dati, risalente ai primi anni 2000, periodo in cui le necessità delle strutture erano sostanzialmente differenti da quelle attuali; il secondo è relativo alle unità funzionali contenute nel modello ideale *Piano-Veronesi*, le quali, non essendo normate, non risultano univoche e soprattutto non considerano tutte le possibili destinazioni d'uso. Per questi motivi, al fine di generare degli schemi funzionali-distributivi il

Inquadramento generale dei casi studio



Inquadramento del caso studio trattato

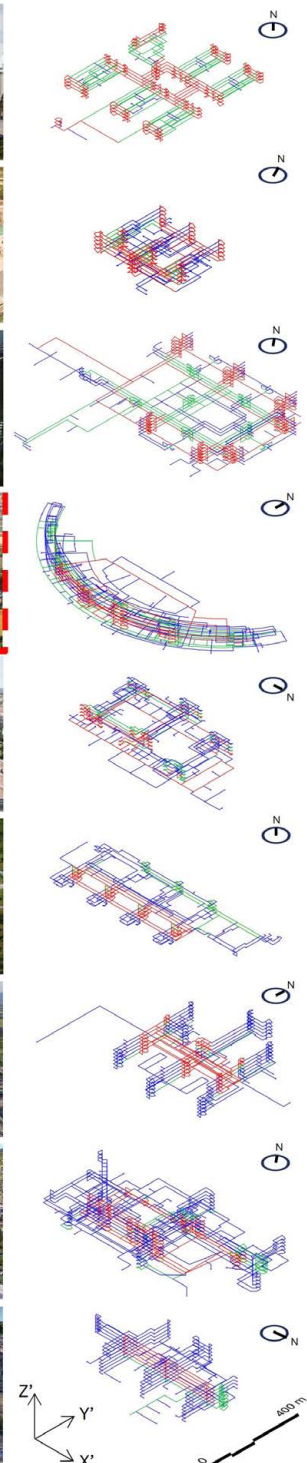


Fig. 1. Inquadramento territoriale dei casi analizzati e del caso di studio presentati. Ospedale di Andria, Puglia (da: Nuovo Ospedale di Andria - Binini Partners | Società di architettura e ingegneria); Ospedale di Avezzano, Abruzzo (da: 87_AVEZZANO | L+Partners Srl 2022); Ospedale di Bergamo, Lombardia (da: urlly.it/3znd2); Ospedale di Cremona, Lombardia (da: Mario Cucinella Architects); Ospedale di Livorno, Toscana (da: comune.livorno.it/); Ospedale di Monopoli, Puglia; Ospedale di Piacenza, Emilia Romagna (da: <https://www.ausl.pc.it/>); Ospedale di Salerno, Campania (da: <https://www.salermoday.it/>); Linee Guida alla progettazione); Ospedale di Torino, Piemonte (da: Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica).

più possibile coerenti con le necessità attuali, in termini organizzativi e funzionali, e quindi di avere delle basi coerenti da cui partire per la progettazione, si è ritenuto necessario procedere con la riformulazione delle aree, integrando il modello con l'analisi dello stato dell'arte del reale patrimonio ospedaliero nazionale esistente, sfruttando la possibilità di esaminare graficamente le relazioni e i percorsi ospedalieri (nel ramo della scienza delle reti, la cosiddetta *network analysis*) [Setola 2013]. La possibilità di astrarre la distribuzione delle AFO e delle loro relazioni attraverso la classificazione semantica del segno grafico da associare alla rete dei collegamenti, che è dinamica e consente di elaborare in termini di spazio e di tempo l'apparato delle relazioni, è l'aspetto fondativo del percorso analitico affrontato. Alle quantità destinate ad ogni funzione sono associati rami di connessione pesati gerarchicamente e quantificati come esplicitato nel seguito.

Proposta metodologica per l'analisi funzionale

L'approccio analitico adottato si basa sullo studio delle reti, o *network analysis* appunto. Un *network* è un sistema composto da elementi interconnessi, formato da punti, detti nodi, e da linee, dette archi. I *network* sono comuni nella quotidianità, le strade, le linee delle telecomunicazioni materiali e immateriali, la rete idrica, tutto può essere visto come un *network* e perciò l'analisi di questi elementi astratti è di notevole rilevanza in svariati settori. Uno degli aspetti rilevanti di queste reti è la possibilità di definire regole grafiche semplici che evidenzino gerarchie all'interno dei nodi e tra i collegamenti in ragione di opportune variabili (misure di distanza, misure di tempo, misure di rilevanza funzionale, misure di intensità di percorrenza, ecc.) [Donato 2020]. Queste connessioni sono considerate come delle reti di flusso. Il concetto alla base di tutti i tipi di *network analysis* è la percorrenza della rete, tramite archi, per collegare un nodo a un altro, misurando così un valore di costo. Tale valore non è univoco, a seconda del tipo di problema che si vuole risolvere il costo può essere inteso come tempo di percorrenza, distanza, costo sociale, ambientale, economico (e in questo intervengono variabili legate alla frequenza d'uso e agli impatti che questa frequenza comporta). Il calcolo del valore viene operato in relazione alle proprietà "della tratta" che si sta percorrendo e perciò dipende dal percorso seguito.

Esistono diversi tipi di analisi di rete; per i fini del presente studio si è ritenuto opportuno applicare la cosiddetta matrice dei costi origine/destinazione (*OD cost matrix*) [Matei et al 2014], un'analisi che permette di determinare i flussi di spostamento da origini a destinazioni multiple. Da un punto di vista visuale generano grafi sottesi da matrici (tabelle a doppia entrata). La scelta è ricaduta su questa tipologia di analisi in quanto lo scopo dello studio è quello di determinare la matrice delle relazioni spaziali, ossia una matrice che schematizza la tipologia di relazione che intercorre tra le varie destinazioni d'uso in termini di distanza e connessione diretta o indiretta. Con l'*OD matrix* è possibile infatti individuare i percorsi ottimali di collegamento tra le AFO e di calcolare la distanza di separazione. Come avvio del lavoro, lo studio grafico è stato condotto prendendo a riferimento nove casi studio di ospedali sul territorio nazionale, riportati in figura 1. Nello sviluppo più estensivo della ricerca si immagina di ampliare il numero di riferimenti da assumere fino a raggiungere una quantità che sarà valutata significativa e rappresentativa in termini statistici e con riguardo alle caratteristiche dei territori considerati e dei bacini di utenza interessati.

Si precisa che in questa fase del lavoro si è tenuto conto esclusivamente della distribuzione interna degli edifici (connettivi orizzontali e verticali), lasciando a sviluppi successivi l'analisi del contesto urbano. I passaggi generali sono schematizzati in figura 2 e riguardano: assunzione dei riferimenti normativi e delle relazioni funzionali "tipo" [1]; questa fase fornisce il livello di riferimento (come gerarchia delle relazioni tra le diverse funzioni - matrice tabellare - e come geometria distributiva - schemi planimetrici); raccolta planimetrie edilizie degli ospedali analizzati; tracciamento della rete distributiva relazionale (nodi e connessioni) [2]; in questo passaggio, alla geometria del grafo si associa una distribuzione gerarchica delle connessioni in relazione alla rilevanza rispetto al percorso (*primary*, *secondary* e *local paths*); estrazione matrici relazionali tramite l'*OD cost matrix*.

Occorre di nuovo evidenziare che l'ospedale ideale preso a riferimento (*Piano-Veronesi, 2001*), da una parte si discosta dalla matrice funzionale normativa (vedi ad esempio funzioni che pur essendo prossime o contigue non hanno una relazione gerarchica "forte"), dall'altra sconta un limite di aggiornamento che il metodo proposto, ripetiamo, vuole superare andando ad analizzare strutture più recenti dove i rapporti relazionali tra le aree si sono aggiornati.

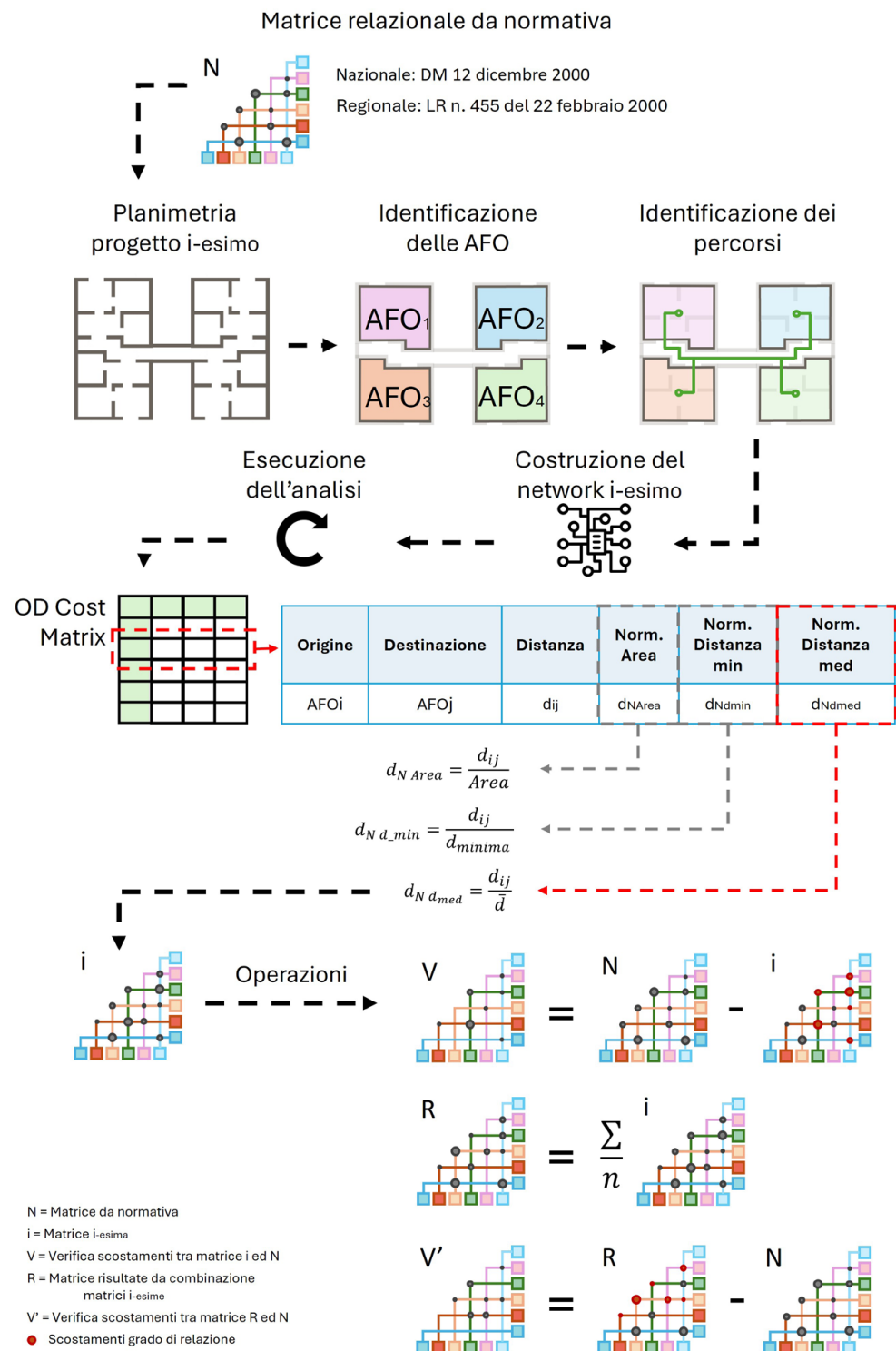


Fig. 2. Schema impostazione metodologica per la generazione e il confronto dei dati tabellari. Elaborazione degli autori.

Applicazione

Per l'esecuzione dell'analisi è necessario partire dalla modellazione del *network* di riferimento (astrazione grafica), raffigurante i percorsi interni dell'ospedale [Blum et al. 1997]. L'iter procedurale seguito prevede prima l'individuazione delle aree funzionali (discretizzazione), poi la definizione dei perimetri di tali aree collegati ai relativi dati (parametrizzazione) e infine la ponderazione dei percorsi e degli accessi (gerarchizzazione). Per poter proseguire con la rappresentazione sono quindi necessarie le planimetrie di ogni livello altimetrico della struttura. In figura 3 è riportato un esploso assonometrico del nuovo ospedale di Cremona (Lombardia), assunto in questa occasione come riferimento per la presentazione del metodo di analisi proposto (fig. 3). Per l'identificazione delle AFO in questo caso è stata seguita la scomposizione riportata nelle tavole di progetto, mentre, per gli altri esempi analizzati, di cui si dispone di progetti esecutivi, non avendo una distinzione per aree ma per distribuzione interna e destinazione d'uso dei singoli locali, sono stati accorpati tra loro tutti gli ambienti aventi utilizzo omologo o affine, integrando nelle AFO anche i servizi di pertinenza (ad esempio sale di attesa dei singoli reparti). Prima di proseguire con la elaborazione, occorre definire quale tipologia di percorso considerare, se solo quello dedicato al personale sanitario oppure ogni tipo di connessione. In questo caso, analizzando AFO di pertinenza come non esclusiva del personale, ma anche a servizio degli utenti, si è deciso di procedere con la seconda ipotesi, considerando tutte le tipologie di percorsi interni, indifferenziatamente.

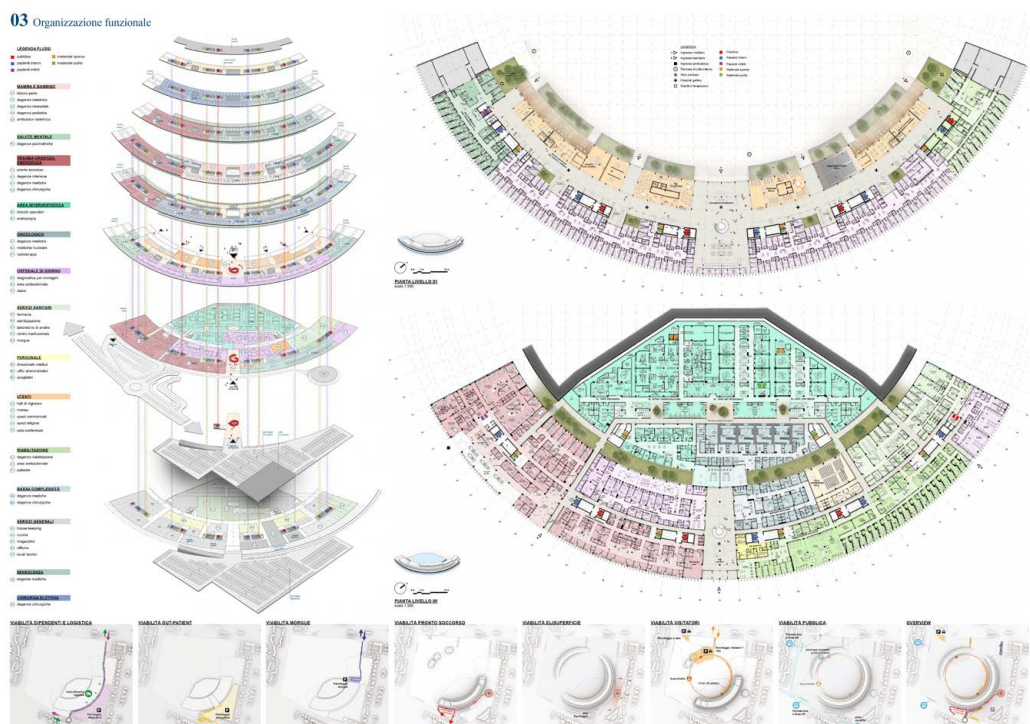


Fig. 3. Tavola di concorso per il nuovo ospedale di Cremona, Lombardia: distribuzione AFO (in alto) e evidenziazione percorsi suddivisi per tipologia (in basso) (da: Mario Cucinella Architects, <https://www.mcarchitects.it/>).

Modellizzazione numerica e modellazione grafica

La modellazione gerarchica dei collegamenti (fig.4), di carattere grafico e numerico, è stata eseguita avendo cura di posizionare gli archi in corrispondenza dei corridoi interni e inserendo, ove presenti, anche le relazioni lineari tra le diverse aree [Lo Turco et al. 2023]. In questa fase è stato necessario fare delle ipotesi in merito alla rete di distribuzione interna, soprattutto per i casi in cui non si dispone di planimetrie sufficientemente dettagliate, avendo cura di inserire anche i collegamenti diretti fra le AFO quando ritenuto opportuno. Una volta

completata la rappresentazione bidimensionale del network si è passati alla modellizzazione grafo-numerica tridimensionale, allineando tra loro i vari piani e interconnettendoli reciprocamente.

In figura 5 è possibile visualizzare il modello parametrico a “fil di ferro” prodotto, è stata incrementata l'altezza interpiano per consentire la lettura simultanea dei diversi livelli (esploso assonometrico che mantiene le connessioni tra i livelli) (fig. 5). In generale è stato necessario effettuare una semplificazione in merito all'altezza interpiano, posta arbitrariamente pari a quattro metri, considerando che per alcuni dei casi analizzati non si disponeva di informazioni in merito. Per quanto riguarda i collegamenti verticali, questi sono stati rappresentati in modo diverso a seconda della tipologia: gli ascensori sono modellati con una singola linea retta verticale mentre le scale sono schematizzate tramite delle spezzate, a tratti inclinati, per raffigurare l'andamento delle rampe. Questa differenziazione è stata fatta in quanto, se fossero state rappresentate tramite una semplice linea retta anche le scale, la distanza percorsa dagli utenti in quel tratto sarebbe stata approssimata per difetto. Quest'ultima approssimazione non comporta grandi differenze per le strutture a sviluppo orizzontale; ha invece un impatto più significativo sugli ospedali che si sviluppano in altezza (tipologia “a torre”).

Terminata la rappresentazione schematica dei collegamenti interni si è proceduto con la modellazione degli stessi su sistema informativo geografico/geometrico (fig. 6). È stato definito un *network* dove ogni nodo rappresenta una AFO oppure un punto di intersezione tra i percorsi. Con questa semplificazione si presentano dei problemi di restituzione e analisi grafica in quanto una AFO può essere suddivisa in più aree, anche a livelli differenti, e ciò porta ad ottenere nella matrice finale più righe per la stessa AFO, ognuna con diversi rapporti relazionali con le altre aree. Per la risoluzione di questo elemento sono state raggruppate tra loro, al termine dell'analisi, tutte le righe della tabella relative alla medesima area, prendendo come valore di riferimento la più piccola distanza di separazione.

Prima di procedere con l'analisi è necessario definire le caratteristiche del *network*, in particolare in termini di collegamenti, costo e spostamenti. Come parametri di collegamento - che indicano come i tratti della rete sono connessi tra di loro - sono state utilizzate le coordinate dei vertici degli archi: come conseguenza geometrica, se due punti hanno le stesse coordinate, i relativi segmenti sono collegati. Il successivo set di parametri definiti permette di determinare come il flusso si muove lungo il *network*: per ogni segmento della rete è stato definito il senso di percorrenza, ossia se a senso unico o a doppio senso, e per ogni nodo è stata determinata la cosiddetta *u-turn policy*, indicando i cambi di direzione consentiti. Nei casi in esame, trattandosi di reti di percorsi interni, utilizzati da persone, non vi sono sensi unici e soprattutto non vi sono limitazioni in termini di svolte, perciò, in qualsiasi punto della rete è possibile cambiare direzione.

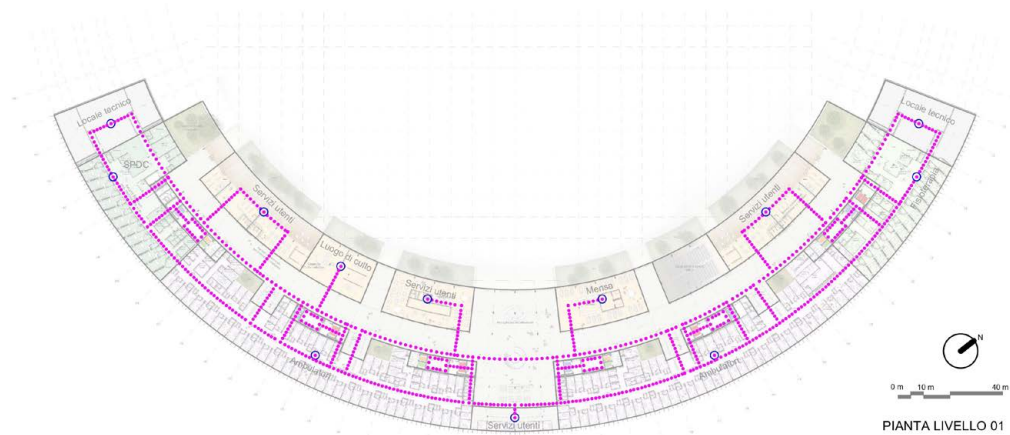
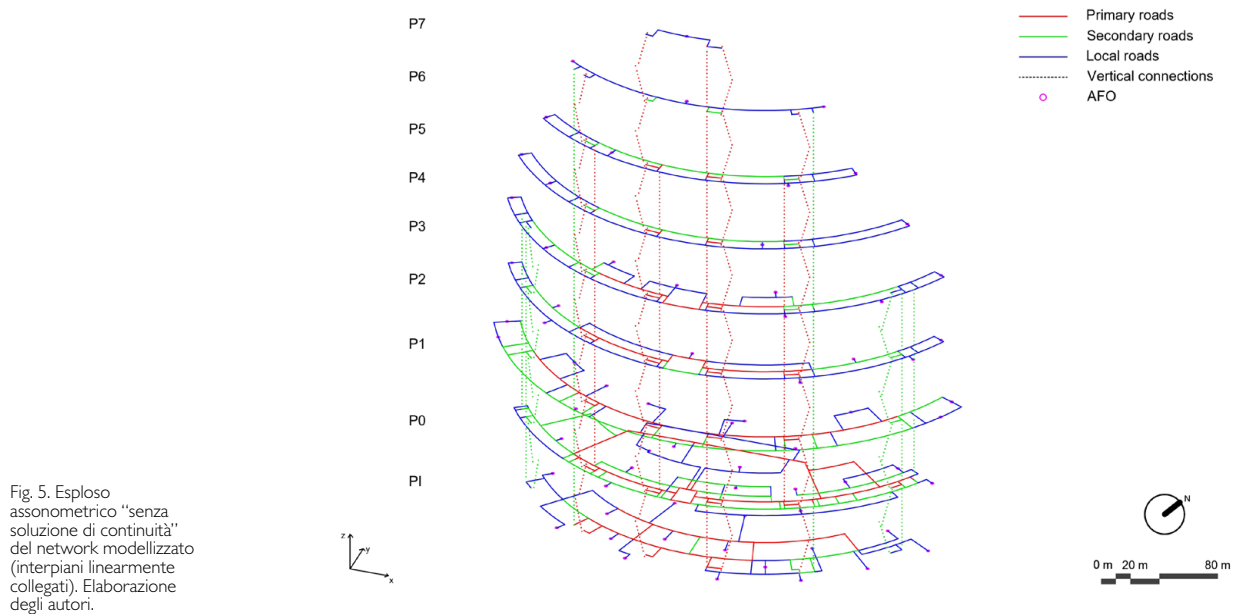


Fig. 4. Identificazione e schematizzazione dei percorsi interni e delle AFO al Livello 01. Elaborazione degli autori.

Successivamente alla modellazione della rete e dei relativi parametri, nonché la creazione delle componenti geometriche, informative e topologiche dei punti raffiguranti le AFO (circonferenze di colore giallo, fig. 6), si è proceduto con l'analisi automatica vera e propria. Le AFO rappresentano i punti di partenza e di arrivo dell'*OD cost matrix*, mentre il *network* è la rete lungo cui vengono individuati i percorsi e calcolati i costi. Il risultato dell'analisi è una



matrice in cui ogni riga rappresenta una coppia di punti origine-destinazione, cui è associata la relativa distanza di separazione. Sul valore di costo ottenuto si basa la definizione della tipologia di legame che lega le AFO, ossia se di valore alto, medio, di base o basso. Valore alto sta a significare che quelle due funzioni richiedono un collegamento diretto e veloce perché fortemente interconnesse e mutuamente dipendenti e così via a scendere di intensità. Prima di procedere con quest'ultimo step è necessario normalizzare i valori ottenuti al fine di rendere le matrici quanto più possibile indipendenti dalle dimensioni delle strutture. Infatti, bisogna considerare che, se si ha a che fare con un ospedale di piccole dimensioni, una distanza di qualche decina di metri tra due aree può risultare notevole, mentre se si sta analizzando un ospedale di distribuzione orizzontale o verticale estesa e pluripiano, tale percorso può comunque identificare un legame forte. Per questo motivo, tutti i valori di costo ottenuti sono stati normalizzati in funzione della distanza media di separazione tra le AFO. In figura 7 è riportato il risultato grafico dell'analisi condotta (fig. 7).

Questa metodologia è stata applicata ai casi studio illustrati in figura 1. Per analizzare la configurazione interna ed identificare le relazioni tra le AFO ospedaliere. Il campione analizzato è però contenuto e non sempre esaustivo in termini di risultati affidabili. Non è però stato possibile ampliare il campione di ricerca in quanto, per ottenere un risultato coerente con quelli che sono i requisiti della normativa nazionale, è indispensabile analizzare solo casi italiani e solo edifici recenti; non è possibile prendere a riferimento strutture vetuste in quanto il modello organizzativo è cambiato con gli anni e, anche se i vecchi ospedali sono stati riorganizzati secondo il nuovo modello, non sono stati progettati per la configurazione che oggi potremmo osservare. L'adeguamento funzionale di queste strutture ha portato allo sviluppo di una configurazione non ottimale, dettata da numerosi variabili al contorno, prima fra tutte la configurazione geometrica primigenia dell'edificio. In figura 8 è infine riportata la matrice relazionale ricavata dall'analisi dell'ospedale di Cremona (fig. 8); la matrice relazionale di riferimento, da usare a supporto della futura progettazione, è ottenuta andando a combinare tra loro le singole matrici ricavate dall'analisi dei casi studio.

Conclusioni

Finora si è parlato unicamente di matrice relazionale, e quindi dei rapporti che intercorrono tra le AFO, unicamente in termini di distanza di separazione. Per ottenere una matrice relazionale che rappresenti lo stato dell'arte il più fedelmente possibile sarà necessario introdurre ulteriori dati relativi ai flussi, in particolare in merito alla frequenza di utilizzo di ogni specifico collegamento e di ogni legame [Cavallari-Murat 1967]. Bisognerà dunque considerare che

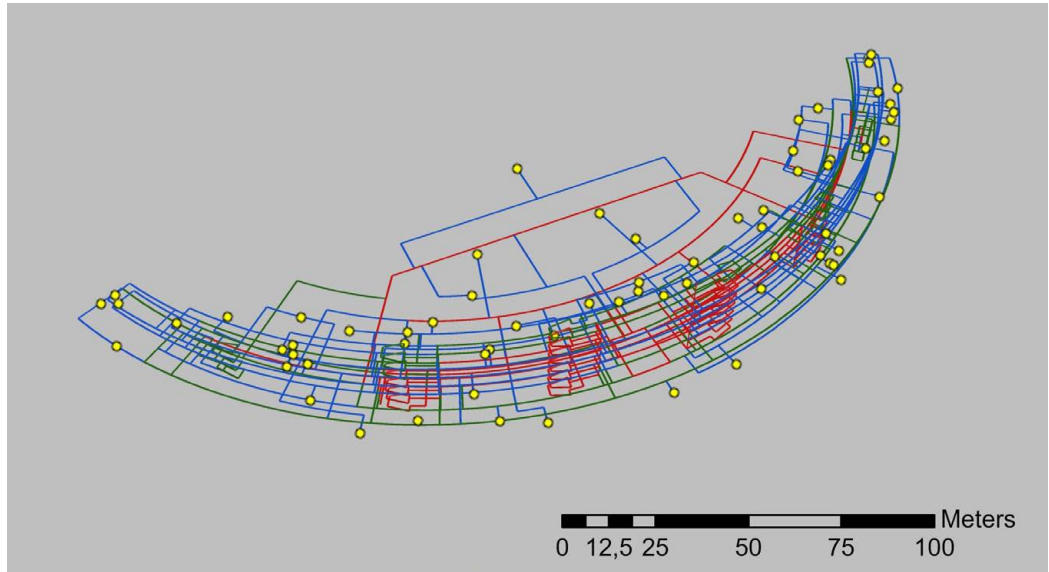


Fig. 6. Rappresentazione su sistema informativo di tipo geometrico del modello utilizzato per l'analisi OD cost matrix. Elaborazione degli autori.

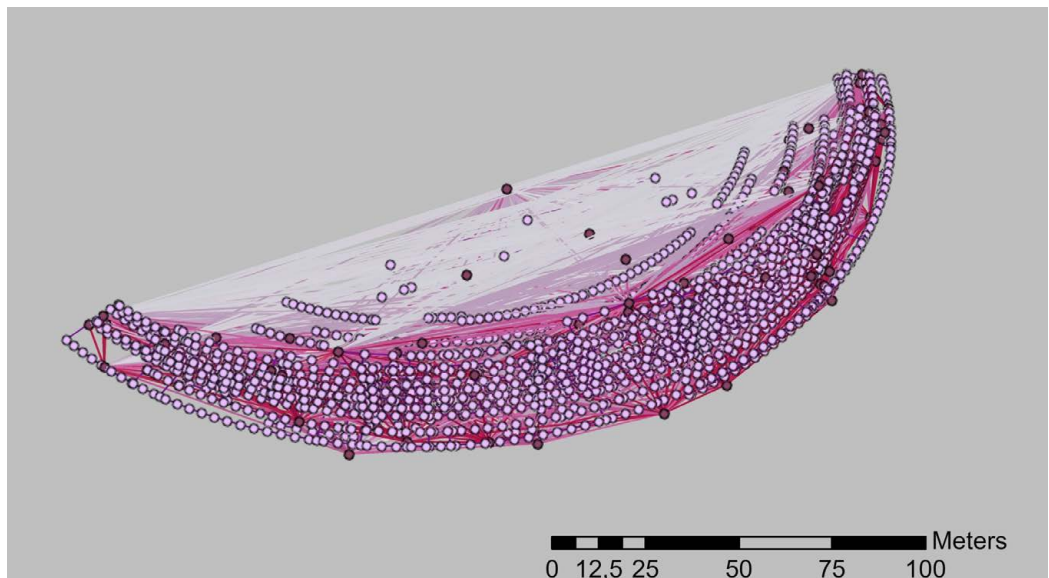


Fig. 7. Risultato dell'analisi OD cost matrix. Elaborazione degli autori.

due AFO possono anche essere legate da una relazione forte, e quindi dovrebbero teoricamente essere progettate come contigue o prossime, ma bisognerà rispondere al seguente quesito: quanto quel collegamento viene effettivamente utilizzato? Con quale frequenza gli utenti seguono quel percorso? Questo aspetto risulta rilevante per definire la distribuzione interna delle aree in quanto un legame può anche essere classificato come "forte" se calco-

lato su pure caratteristiche geometriche, mentre può risultare medio o blando se valutato in relazione alla frequenza di impiego da parte delle persone. Analogamente, se due AFO sono collegate da un legame debole ma vi è un flusso costante di persone da una all'altra, allora è opportuno aumentare il grado del legame per posizionarle più vicine. Questi ragionamenti vengono fatti con il fine di ridurre al minimo le interferenze e rendere migliori i flussi interni di persone e materiali, sia in termini di distanza da percorrere che in termini di riduzione degli spostamenti [Tsiliakou et al. 2016]. Per introdurre questi affinamenti sarà necessario integrare uno studio apposito sui flussi interni del personale sanitario di ogni ospedale trattato. Lo studio sottolinea il ruolo significativo del disegno e dell'analisi numerico-grafica nello sviluppo di un processo semi-automatico per la progettazione ospedaliera. Sono emersi diversi punti chiave: miglioramento dell'ideazione e dello sviluppo progettuale: i metodi grafici, in particolare l'uso delle analisi di rete, supportano le fasi iniziali dell'ideazione e dello sviluppo progettuale fornendo un quadro visivo e analitico per gli schemi distributivi; analisi di rete e astrazione grafica: l'implementazione delle analisi di rete consente di studiare le configurazioni ospedaliere moderne, portando alla definizione di una matrice relazionale ideale. La capacità di astrarre la distribuzione e le relazioni attraverso segni grafici associati alla rete di collegamenti è fondamentale. Questa astrazione permette l'elaborazione dinamica delle

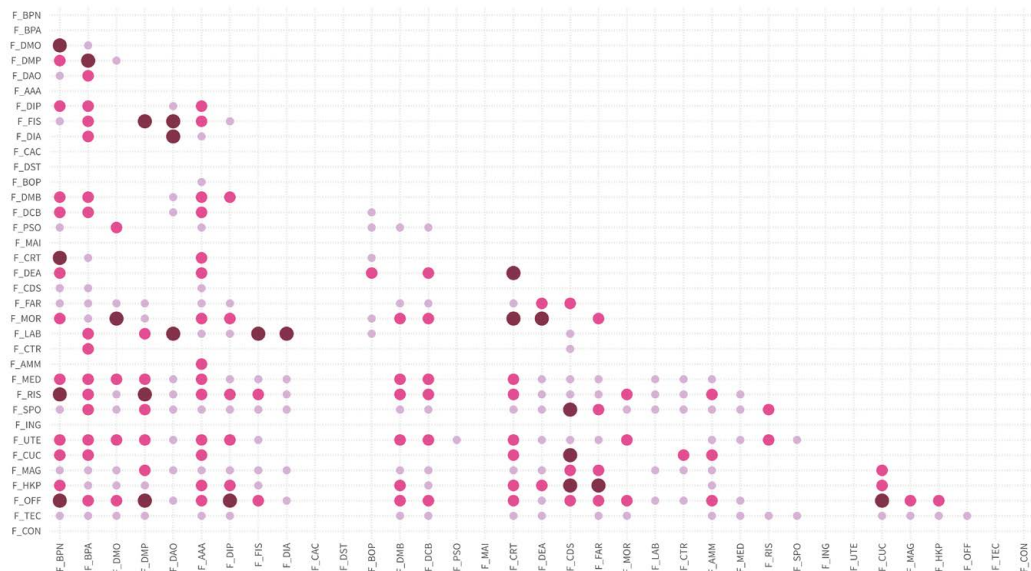


Fig. 8. Matrice delle relazioni spaziali dell'ospedale di Cremona, Lombardia. Elaborazioni degli autori.

strutture relazionali in termini di spazio e tempo.; modellazione gerarchica delle connessioni: la modellazione grafica e numerica delle connessioni gerarchiche garantisce una rappresentazione accurata dei percorsi interni degli ospedali. Questa modellazione aiuta a comprendere il flusso e la connettività all'interno dell'ambiente ospedaliero, facilitando l'identificazione dei percorsi e delle relazioni ottimali tra le aree funzionali; rappresentazione parametrica e visiva: la creazione di modelli grafico-numerici bidimensionali e tridimensionali, insieme al sistema informativo geografico/geometrico, fornisce una rappresentazione visiva completa delle reti interne ospedaliere. Questa rappresentazione visiva è cruciale per analizzare e comprendere le complesse relazioni spaziali; normalizzazione e standardizzazione: la normalizzazione dei valori di costo per rendere le matrici indipendenti dalle dimensioni dell'ospedale assicura che i dati relazionali siano coerenti e comparabili tra diverse configurazioni ospedaliere. Questa standardizzazione è essenziale per generare schemi funzionali-distributivi che si allineano con le necessità organizzative e funzionali future; quadro di analisi comprensivo: l'uso degli strumenti di analisi grafica permette l'integrazione di diverse fonti di dati e facilita l'esame delle relazioni sia funzionali che spaziali all'interno degli ospedali. Questo quadro di analisi comprensivo supporta lo sviluppo di progetti ospedalieri efficienti e di alta qualità.

Questi metodi facilitano la comprensione delle complesse relazioni e dei flussi all'interno degli ambienti ospedalieri, portando a decisioni progettuali più informate ed efficaci.

Note

[1] Tali relazioni sono definite dalla norma, in particolare dalle matrici delle relazioni spaziali e funzionali costruite prendendo a riferimento il progetto dell'ospedale ideale proposto da Piano e Veronesi nel 2001.

[2] Per la realizzazione dei modelli di ospedale su cui si basa la ricerca è stato utilizzato inizialmente il programma di disegno vettoriale (Autodesk AutoCAD), per la pura modellazione delle componenti geometriche, in seguito importate in un sistema informativo di tipo geografico/geometrico (Esri ArcGIS Pro), implementando i modelli geometrici con l'integrazione della componente informativa.

Ringraziamenti

Il contributo ha preso avvio dal lavoro di collaborazione con la Regione Piemonte richiamato in premessa e dalla stesura di una tesi di laurea magistrale in Ingegneria Edile che da questa è discesa (Ferrauto R., *Modelli per l'edilizia ospedaliera e sanitaria: generazione di matrici relazionali per la verifica di alternative progettuali e definizione di schemi distributivi funzionali*. Relatori: Giorgio Garzino, Maurizio Marco Bocconcino, Mariapaola Vozzola). Lo sviluppo e l'applicazione della ricerca qui in parte presentato ha coinvolto diversi enti e diverse competenze che il gruppo di lavoro vuole ringraziare: per la Regione Piemonte l'ing. Sandro Petrucci, dirigente del Settore Politiche investimenti della Direzione Sanità e Welfare, e l'arch. Giada Turturro, l'Azienda Zero Regione Piemonte, l'Azienda Sanitaria Locale Torino, l'Azienda Sanitaria Locale Verbania Cusio Ossola, la Città di Torino e i Comuni di Verbania e Domodossola.

Riferimenti Bibliografici

Belvedere F. (2011). *Lo spazio ospedaliero: tendenze in atto e indirizzi progettuali*. Tesi di dottorato, relatore Prof. Giuseppe Pelitteri. Università degli Studi di Palermo <<https://www.cs.cmu.edu/~avrim/Papers/graphplan.pdf>> (consultato il 10.09.2024).

Blum A. L., Furst M. L. (1997). Fast Planning Through Planning Graph Analysis. In *Artificial Intelligence*, n. 90, pp. 281–300 <<https://www.cs.cmu.edu/~avrim/Papers/graphplan.pdf>> (consultato il 10.09.2024).

Buzzi L. (2017). *Evoluzione delle caratteristiche strutturali e organizzative degli ospedali*. Tesi di Dottorato, relatore prof. Marcello Crivellini, Milano <<https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/137879>> (consultato il 10.09.2024).

Capolongo S. (2006). *Edilizia ospedaliera: Approcci metodologici e progettuali*. Milano: Hoepli.

Donati C. (2009). Il progetto dell'ospedale. In *Modulo*, n. 351 <<https://modulo.net/it/approfondimenti/il-progetto-dellospedale#page/1>> (consultato il 10.09.2024).

Donato V. (2020). *Graph theory and BIM: a topological approach for building layout design*. Roma: Aracne.

Fischer M. M. (2003). *Gis and network analysis*. Pergamon. <<http://hdl.handle.net/10419/116172>> (consultato il 10.09.2024).

Lo Turco M., Tomalini A., Bono J. (2023). Un approccio euristico alla progettazione. Transizioni da algoritmi generativi a modelli parametrici / A Heuristic Approach to Design. Transitions from Generative Algorithms to Parametric Models. In M. Canella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2914–2930.

Matei, F., Andronie L., Anamaria V. (2014). *Modelling a Logistic Problem by Creating an Origin-Destination Cost Matrix using GIS Technology*. <<https://www.researchgate.net/publication/311426568>> (consultato il 10.09.2024).

Cavallari-Murat. A. (1967). La tipologia edilizia nelle molteplici caratterizzazioni tecniche dell'architettura. In *Atti della società degli ingegneri e degli architetti in Torino*, 21 (02), pp. 37–41.

Setola N. (2013). *Percorsi, flussi e persone nella progettazione ospedaliera: L'analisi configurazionale, teoria e applicazione*. <<https://www.researchgate.net/publication/339262840>> (consultato il 10.09.2024).

Tsilikou E., Dimopoulou E. (2016). 3D network analysis for indoor space applications. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W2), pp. 147–154. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-147-2016>>

Autori

Giorgio Garzino, Politecnico di Torino, giorgio.garzino@polito.it.
Maurizio Marco Bocconcino, Politecnico di Torino, maurizio.bocconcino@polito.it.
Mariapaola Vozzola, Politecnico di Torino, mariapaola.vozzola@polito.it.
Rosa Ferrauto, Politecnico di Torino, rosa.ferrauto@polito.it

Per citare questo capitolo: Garzino Giorgio, Bocconcino Maurizio, Vozzola Mariapaola, Ferrauto Rosa (2024). Modelli per l'edilizia ospedaliera e sanitaria: studio dei grafi relazionali e disegno di schemi funzionali e distributivi/Models for hospital and healthcare buildings: study of graphs and drawing of functional and distribution diagrams. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella 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. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3871–3892.

Models for Hospital and Healthcare Buildings: Study of graphs and drawing of functional and distribution diagrams

Giorgio Garzino
Maurizio Marco Bocconcino
Mariapaola Vozzola
Rosa Ferrauto

Abstract

This paper presents a study of the vaulted systems of two churches in South Tyrol, the Parish Church of Chiusa and that of Villandro, analyzing them as models for a philological study of the Parish Church of St. Michael the Archangel in Bressanone. At the same time an innovative and experimental research methodology is proposed that integrates the use of algorithms based on NeRF (Neural Radiance Fields) with Photogrammetry in order to create fast and high-quality 3D models, in the broader context of digitization and valorization of South Tyrol's cultural heritage.

Keywords

vaults, Late Gothic, South Tyrol, NeRF, digital heritage.



Identification of functions
and hospital graphs.

Foreword

The Piedmont Region and the Politecnico di Torino have initiated a collaboration through a framework programme agreement on aspects of study, design research, technology transfer and training in the hospital healthcare sector. The areas of concern are research activities aimed at defining design models, schemes and general guidelines for healthcare facilities, which must be suitable for the simultaneous requirements of operation and organisation for operators, comfortable for patients and capable of satisfying the performance requirements connected with the post-Covid and post-Carbon resilience issues. Additionally, technology transfer activities are planned to include the preparation of Design Guidance Documents (DIP) and Information Specifications (CI), which will include requirements for digital information modelling and indications for the drafting of Technical and Economic Feasibility Projects related to the specific characteristics of individual healthcare facilities, both new buildings and existing facilities to be re-functionalised. A particular *focus* is placed on the aspects of energy and environmental sustainability, rational use of resources and materials, both in the construction and operational phases. Additionally, indications are provided for the definition of digital models (digital twins) that facilitate the management of all informations related to the management, maintenance and development of services. This is achieved through a database fed through a multi-technological approach, comprising webDBMS-GIS-SCAN-BIM-IoT. The two aforementioned aspects, namely the definition of meta-design models and their subsequent application in specific contexts, will be accompanied by training sessions for the staff of the Regional Health Authorities and the Piedmont Region. These training sessions will be open to Administrative Directors, Technical Structure Managers, Works Managers and Project Managers, as well as any support staff (administrative, health and technical).

In the context of methodological and applied research, we propose two contributions to the annual UID debate. The first (see contribution Models for hospital and healthcare construction: study of relationships and definition of modularity) defines hospital typological modules based on the study of models and references in the literature. The second contribution, presented here, concerns a methodological process that enables the identification of significant functional and distributive schemes and the derivation of appropriate graphic tools to support potential design paths. These tools are derived from the study of case studies.

Introduction

Hospitals have undergone numerous transformations over time. They are now considered strategic buildings, acquiring importance in the urban and social spheres. The concept of humanisation has played a pivotal role in this transformation. The hospital is no longer perceived as merely a machine for healing; rather, it is now regarded as a complex entity that encompasses not only the medical aspect but also the architectural design. The architectural design of the hospital is no longer regarded as an additional value but is considered an integral element capable of influencing the patient's wellbeing and the healing process.

The objective of this research is to define a semi-automatic process, supported by design, that can generate distribution schemes based on input data - building typology, hospital functions, and topological relationships - thus aiding the phases of ideation and project development. To achieve this, network analyses were implemented to study the configuration of modern hospitals, aiming to establish the ideal relational matrix to be used as a reference for designing new hospital complexes.

The Ministry of Health, within the framework of the Research Project (ex. art. 12 D.lgs. 502/92), has established guidelines for hospital design to achieve high-quality and efficient structures. This research elaborates on the ideal hospital model proposed by Minister Umberto Veronesi and a team of experts coordinated by architect Renzo Piano (the Piano-Veronesi model). The results presented here stem from the decomposition of this ideal hospital model into homogeneous functional areas (AFOs), as introduced by Law 595/85, with defined functional and relational connections for each AFO. Although the legislation does not specify a list of these areas, it outlines their required characteristics, making the subdivision into AFOs flexible.

The research tools are based on two generating matrices (ordered tables of elements allowing row or column readings): the functional relationship matrix and the spatial relationship matrix. These matrices have limitations: firstly, the data is outdated, dating back to the early 2000s, when the requirements for facilities were different from current needs. Secondly, the functional units in the ideal Piano-Veronesi model are not standardized and do not consider all potential uses.

Inquadramento generale dei casi studio



Inquadramento del caso studio trattato

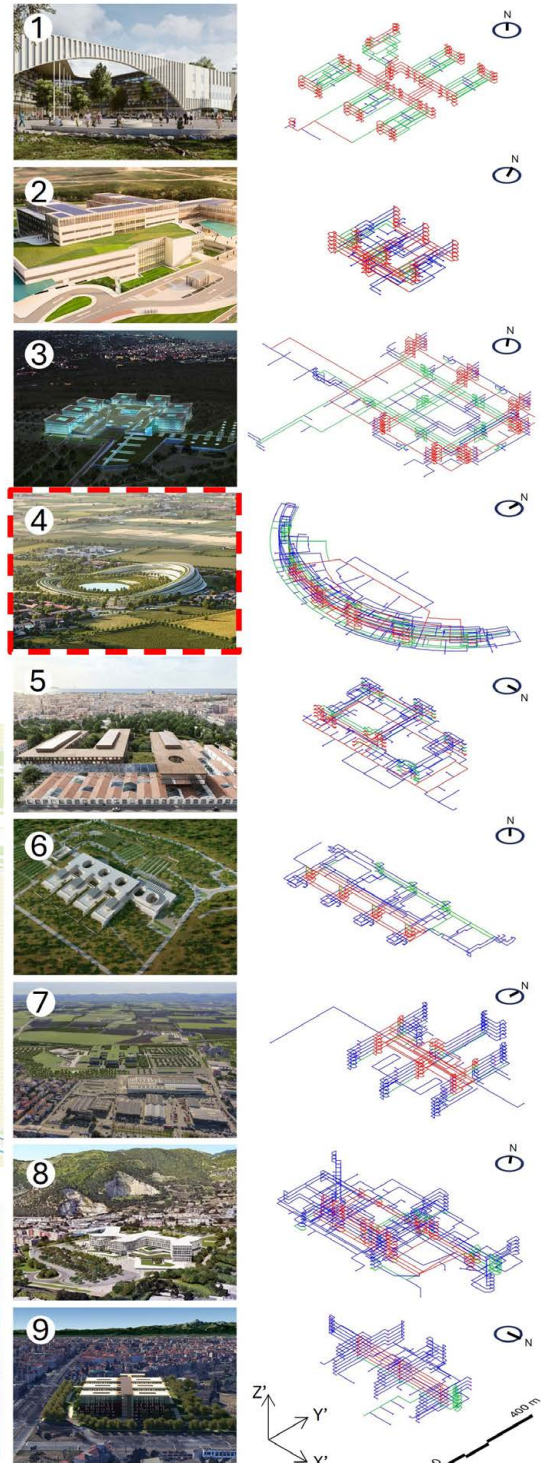


Fig. 1. Spatial overview of the cases analysed and case study presented. Andria Hospital, Apulia. Source: New Hospital of Andria - Binini Partners | Architecture and Engineering Company. Avezzano Hospital, Abruzzo. Source: 87_AVEZZANO | L+Partners Srl 2022 (ellepiupartners.com). Hospital of Bergamo, Lombardy. Source: <urly.it/3znd2>. Cremona hospital, Lombardy. Source: Mario Cucinella Architects (mcarchitects.it). Livorno hospital, Tuscany (<comune.livorno.it/sites/default/files/index/urbanistica/NUOVO_OSPEDALE/studio_di_fattibilita_14.04.2020.pdf>). Monopoli Hospital, Apulia (https://maurosaito.it/nuovo-ospedale-del-sud-est-barese-monopoli-fasano). Piacenza Hospital, Emilia Romagna. (<https://www.ausl.pc.it/it/comunicazioni-ed-eventi/news/illustrazione-documento-studio-fattibilita-nuovo-ospedale>). Salerno hospital, Campania (<https://www.salernotoday.it/attualita/nuovo-ospedale-salerno-progetto-studio-altieri.html>). Design guidelines Turin hospital, Piedmont. Source: Turin Polytechnic University, Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering.

To generate functional-distribution schemes that align with current organizational and functional needs and provide a coherent foundation for design, it was deemed necessary to reformulate the areas. This involved integrating the model with an analysis of the state of the art of the existing national hospital infrastructure, utilizing the capability to graphically examine hospital relations and pathways (network analysis in the field of network science). The ability to abstract the distribution of AFOs and their relationships through the semantic classification of the graphic sign associated with the network of connections, which is dynamic and allows the elaboration of the relational apparatus in terms of space and time, is a foundational aspect of the analytical path undertaken.

Methodological proposal for functional analysis

The analytical approach adopted is based on network studies or network analysis. A network is a system composed of interconnected elements, consisting of points (nodes) and lines (edges). Networks are ubiquitous in everyday life, such as roads, telecommunications lines, water networks, etc., and thus analyzing these abstract elements is significantly relevant in various sectors. One key aspect of these networks is the ability to define simple graphical rules that highlight hierarchies within nodes and connections based on appropriate variables (distance measures, time measures, functional relevance measures, traffic intensity measures, etc.). These connections are viewed as flow networks.

The core concept of all types of network analysis is traversing the network via edges to connect one node to another, thus measuring a cost value. This value is not unique; depending on the problem to be solved, the cost can be understood as travel time, distance, social, environmental, or economic cost (influenced by usage frequency and its impacts). The calculation of the value is related to the properties of the "route" being traversed and thus depends on the path followed.

There are various types of network analyses; for this study, the origin/destination cost matrix (*OD cost matrix*) analysis was deemed appropriate. This analysis determines movement flows from multiple origins to destinations. Visually, it generates graphs underpinned by matrices (double-entry tables). This analysis type was chosen because the study aims to determine the spatial relationships matrix, a matrix that outlines the types of relationships between different usage areas in terms of distance and direct or indirect connection. The OD matrix identifies optimal connection paths between AFOs and calculates separation distances. As an initial step, the graphic study referenced nine hospital case studies across the national territory, as shown in figure 1. In further research developments, the number of references will be expanded to reach a statistically significant and representative quantity, considering the characteristics of the territories and the user bases involved.

It should be noted that at this stage of the work only the internal distribution of the buildings (horizontal and vertical connectives) was taken into account, leaving the analysis of the urban context to later developments. The general steps are schematised in figure 2 and concern:

- assumption of normative references and 'type' [1] functional relations; this phase provides the reference level (as hierarchy of relations between the various functions - tabular matrix - and as distributional geometry - planimetric schemes);
- collection of building plans of the hospitals analysed;
- tracing of the relational distribution network (nodes and connections) [2]; in this step, the geometry of the graph is associated with a hierarchical distribution of connections in relation to relevance with respect to the pathway (primary, secondary and local paths);
- extraction of relational matrices using the *OD cost matrix*.

It should again be emphasised that the ideal hospital taken as a reference [Piano, Veronesi, 2001], on the one hand differs from the normative functional matrix (see, for example, functions that despite being close or contiguous do not have a 'strong' hierarchical relationship), and on the other hand suffers from an updating limit that the proposed method, we repeat, wants to overcome by analysing more recent structures where the relational relationships between areas have been updated.

Application

For executing the analysis, it is necessary to start with the modeling of the reference network (graphical abstraction), depicting the internal pathways of the hospital. The procedural steps include first identifying the functional areas (discretization), defining the perimeters of these areas connected to their respective data (parameterization), and then weighting the

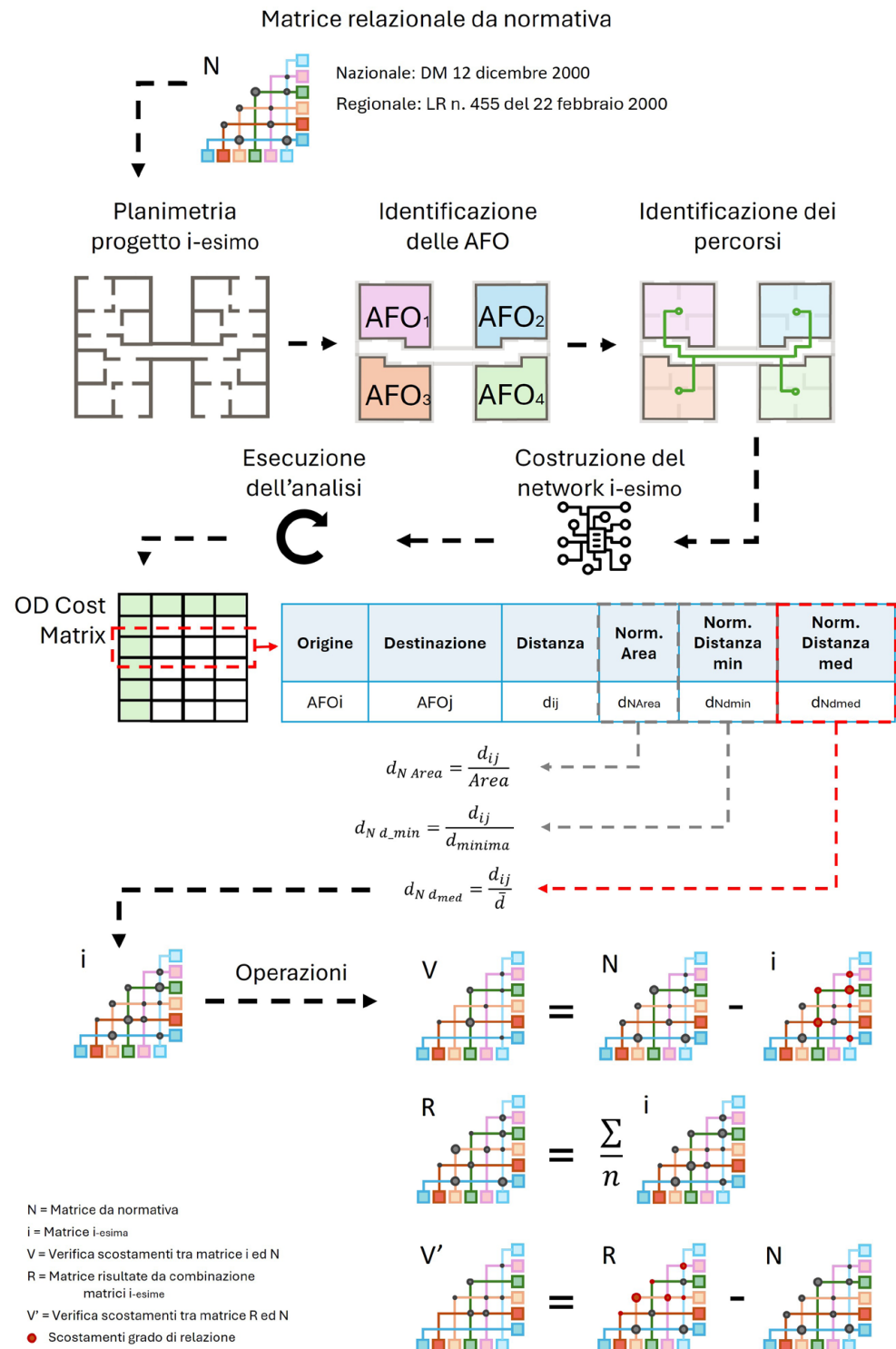


Fig. 2. Schematic methodological approach for generating and comparing tabular data. Authors' elaboration.

paths and accesses (hierarchization). Floor plans of each level of the structure are essential for continuing with the representation. Figure 3 shows an exploded axonometric view of the new hospital in Cremona, Lombardy, used as a reference for presenting the proposed analysis method.

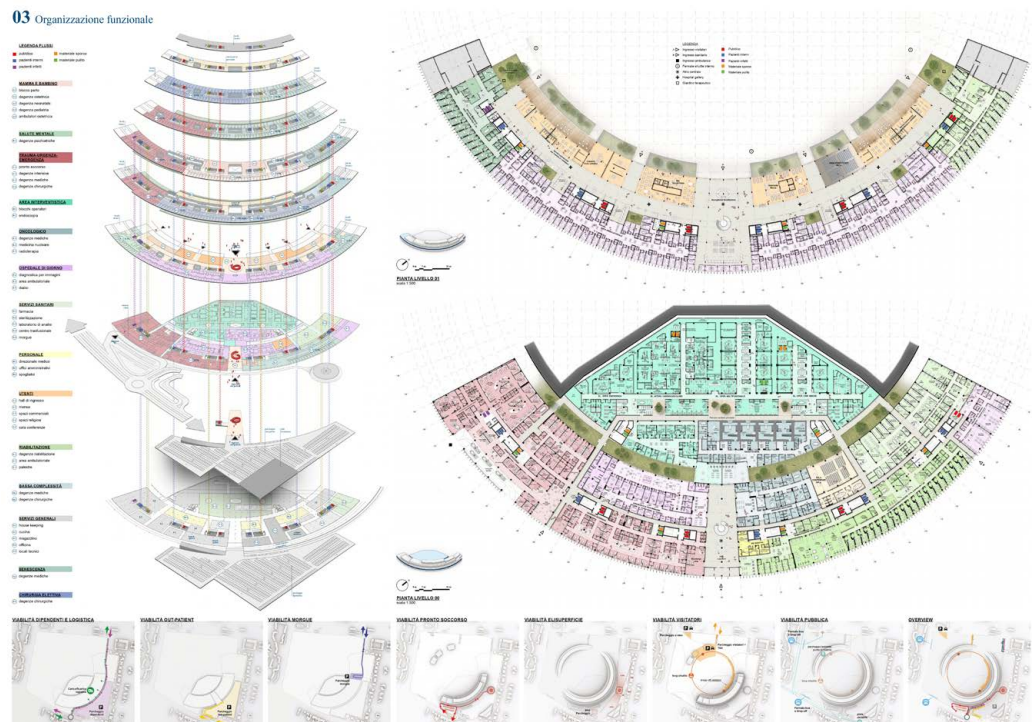


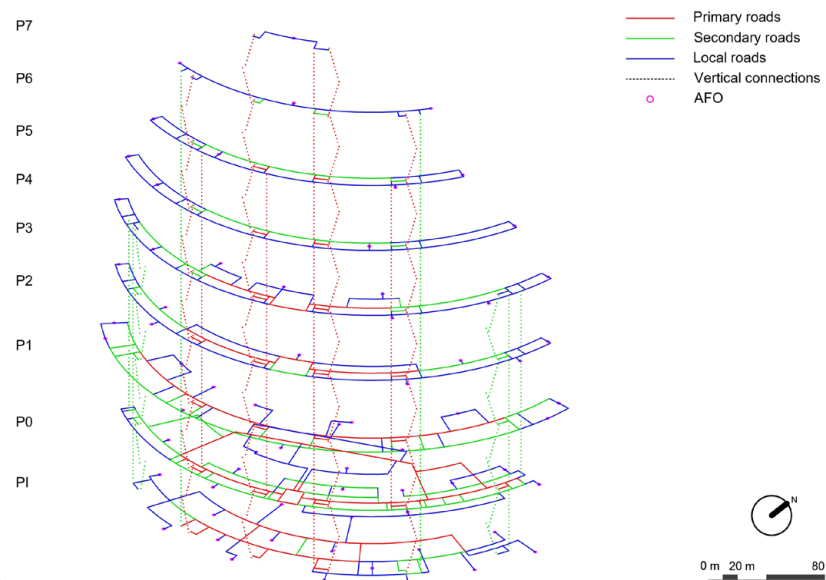
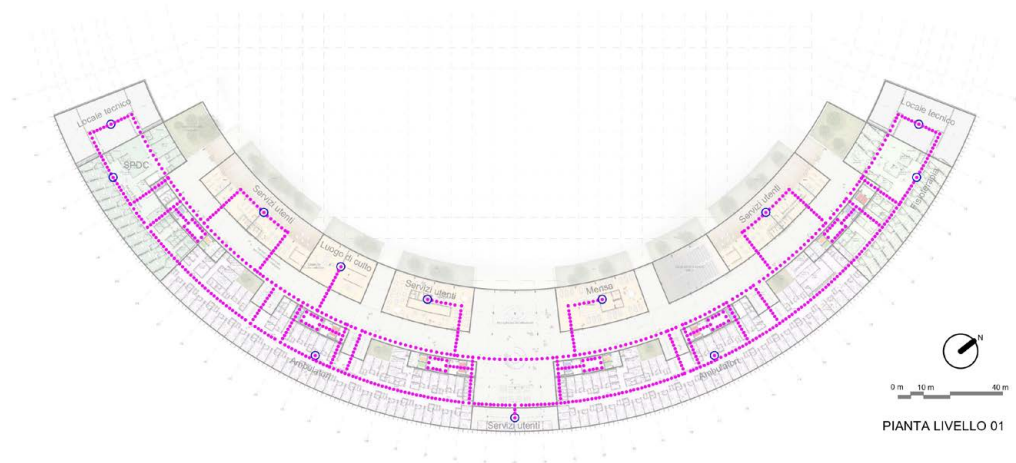
Fig. 3. Competition board for the new hospital in Cremona, Lombardy (AFO distribution, top, and highlighting of routes by type, bottom). Source: Mario Cucinella Architects (mcarchitects.it).

In this case, the identification of AFOs followed the breakdown provided in the project tables, whereas for other analyzed examples with available executive projects, where there is no distinction by areas but by internal distribution and the intended use of individual rooms, all environments with similar or related uses were grouped together, integrating related services into the AFOs (e.g., waiting rooms of individual departments). Before proceeding with the elaboration, it is necessary to define which type of path to consider, whether only those dedicated to medical staff or all types of internal connections. Given that AFOs are not exclusively for staff but also serve users, the second hypothesis was chosen, considering all types of internal pathways without differentiation.

Graphical and Numerical Modeling

The hierarchical modeling of connections (fig.4), both graphical and numerical, was carried out by positioning the edges along the internal corridors and including linear relationships between different areas where present. In cases where detailed floor plans were unavailable, hypotheses regarding the internal distribution network were made, ensuring to include direct connections between AFOs when appropriate. Once the two-dimensional network representation was complete, it was transitioned to a three-dimensional graph-numeric model, aligning and interconnecting the various floors.

In figure 5, the “wireframe” parametric model produced is visible, with the floor height increased to allow simultaneous reading of different levels (exploded axonometric view maintaining connections between levels). Simplification regarding floor height was necessary, arbitrarily set at four meters due to a lack of information for some cases. Vertical connections were represented differently based on type: elevators with a single vertical line and stairs with broken lines representing the ramp inclines, ensuring accuracy in distance representation for users. This differentiation was made because if stairs had also been represented by a simple straight line, the distance travelled by users in that section would have been approx-



imated by default. This latter approximation does not lead to great differences for horizontally developed structures; it has a more significant impact on hospitals that are developed in height ('tower' type).

The schematic representation of internal connections was followed by modeling them on a geographic/geometric information system (fig.6). A network was defined where each node represents an AFO or an intersection point. This simplification posed graphical return and analysis challenges, as an AFO could be subdivided into multiple areas on different levels, leading to multiple rows for the same AFO in the final matrix, each with different relational relationships. To resolve this, all table rows related to the same area were grouped, taking the smallest separation distance as the reference value.

Before analysis, the network characteristics must be defined, particularly in terms of connections, cost, and movements. Connection parameters - indicating how network segments are linked - utilized the coordinates of the edge vertices: geometrically, if two points have the same coordinates, their segments are connected. The subsequent parameter set determines how the flow moves along the network: each segment's direction (one-way or two-way) and

Fig. 6. Geometric information system representation of the model used for the OD cost matrix analysis. Authors' elaboration.

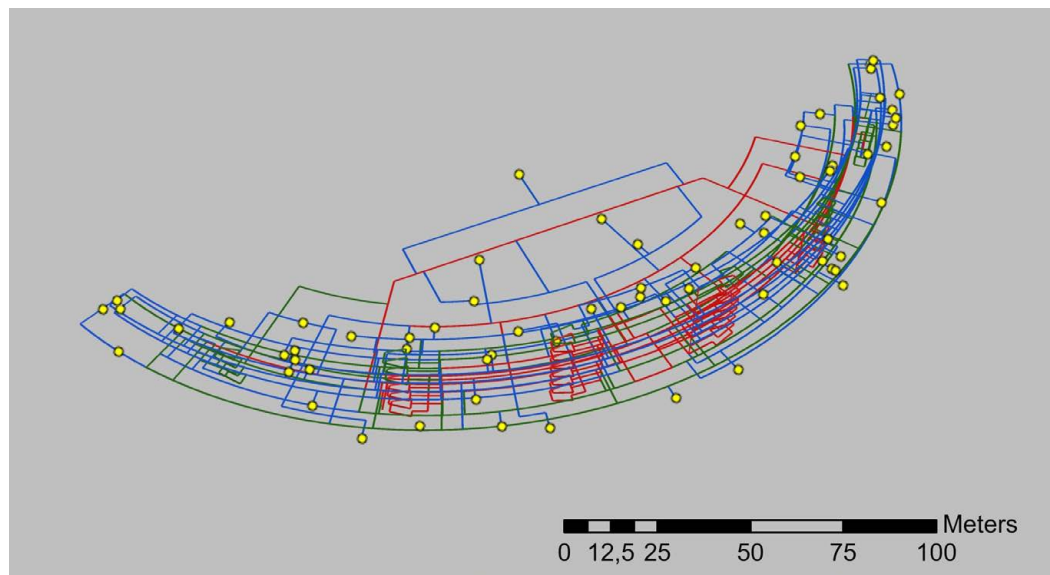
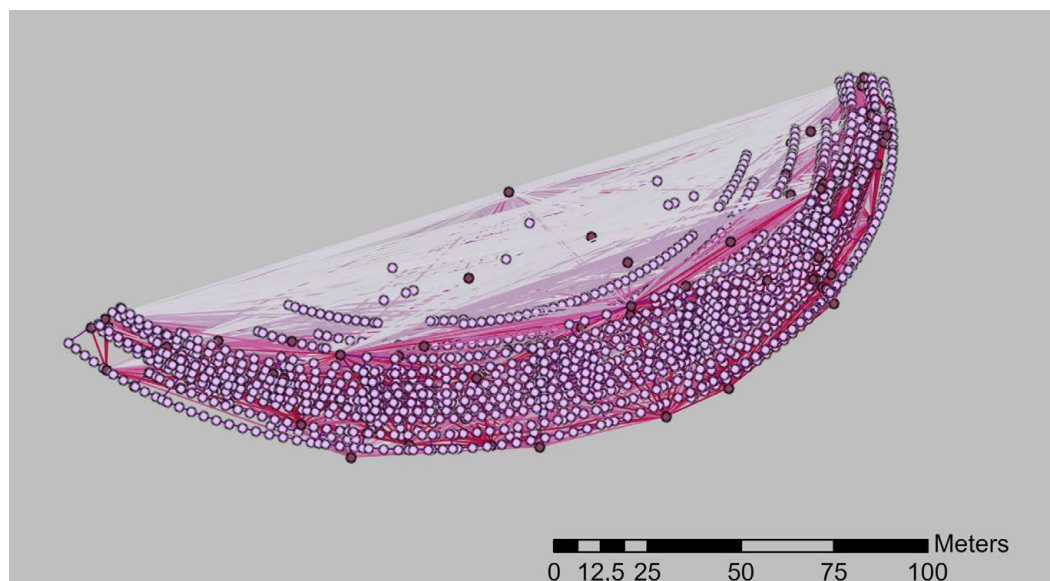


Fig. 7. Result of the Od cost matrix analysis. Authors' elaboration.



each node's u-turn policy (allowed direction changes). For internal pathway networks used by people, there are no one-way directions or turn limitations, allowing direction changes at any network point.

After modeling the network and its parameters, and creating the geometric, informational, and topological components representing the AFOs (yellow circles in fig. 6), the automated analysis was conducted. AFOs are the origin and destination points for the *OD cost matrix*, while the network determines the paths and costs. The analysis result is a matrix where each row represents an origin-destination point pair, with the associated separation distance. This cost value determines the type of relationship between AFOs: high, medium, base, or low value. High value signifies that two functions require a direct and quick connection due to strong interconnection and mutual dependence, and so on. Before this step, values must be normalized to make matrices independent of the structure size. For small hospitals, a distance of a few dozen meters can be significant, while for horizontally or vertically extensive hospitals, it might indicate a strong connection. Thus, all cost values were normalized based on the average separation distance between AFOs. Figure 7 shows the graphical result of the analysis.

This methodology was applied to the case studies illustrated in figure 1 to analyze internal configurations and identify relationships between hospital AFOs. However, the analyzed sample is limited and not always exhaustive in terms of reliable results. Expanding the research sample was not feasible due to the necessity of analyzing only recent Italian buildings to align with national regulatory requirements. Older structures cannot be referenced as their organizational models have evolved, and even if old hospitals have been reorganized according to the new model, they were not designed for the current configuration. The functional adaptation of these structures resulted in non-optimal configurations due to numerous surrounding variables, primarily the original geometric configuration of the building. Finally, Figure 8 presents the relational matrix derived from the analysis of the Cremona hospital. The reference relational matrix for future design support combines individual matrices from the case study analyses.

Conclusions

So far, the discussion has focused solely on the relational matrix and the relationships between the AFOs, considering only the distance of separation. To achieve a relational matrix that accurately represents the state of the art, it will be necessary to introduce additional data regarding flows, particularly concerning the frequency of use of each specific connection and each relationship. Therefore, it must be considered that two AFOs may theoretically be designed as contiguous or proximate due to a strong relationship, but one must address the following question: how frequently is that connection actually used? How often do users follow that pathway? This aspect is crucial for defining the internal distribution of areas because a relationship may be classified as “strong” based purely on geometric characteristics, yet it could be moderate or weak when evaluated in relation to the frequency of use by individuals. Similarly, if two AFOs are linked by a weak relationship but there is a constant flow of people between them, then it is appropriate to increase the strength of the relationship and place them closer together. These considerations aim to minimise interferences and improve the internal flow of people and materials, both in terms of distance travelled and the reduction of movements. To introduce these refinements, a dedicated study on the internal flows of the medical staff in each hospital analysed will be necessary.

The study underscores the significant role of drawing and numerical-graphical analysis in the development of a semi-automatic process for hospital design. Several key points have emerged:

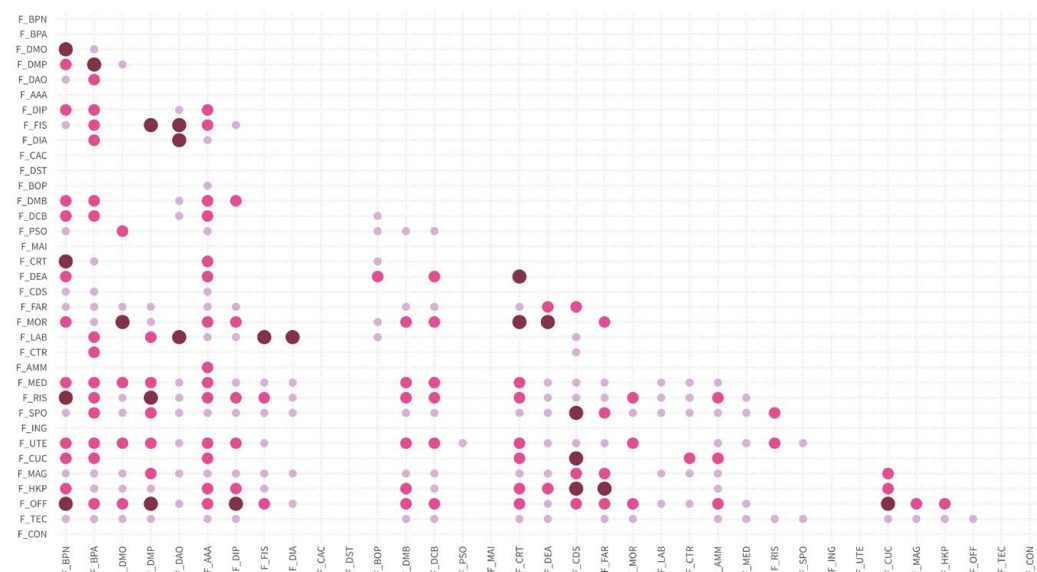


Fig. 8. atrix of spatial relations of the hospital in Cremona, Lombardy. Authors' elaboration.

- Enhancement of Ideation and Project Development: Graphical methods, particularly the use of network analyses, support the initial stages of ideation and project development by providing a visual and analytical framework for distribution schemes.
- Network Analysis and Graphical Abstraction: Implementing network analyses allows for the study of modern hospital configurations, leading to the definition of an ideal relational matrix. The ability to abstract distribution and relationships through graphical signs associated with the network of connections is fundamental. This abstraction permits the dynamic elaboration of relational structures in terms of space and time.
- Hierarchical Connection Modelling: The graphical and numerical modelling of hierarchical connections ensures an accurate representation of the internal pathways of hospitals. This modelling aids in understanding the flow and connectivity within the hospital environment, facilitating the identification of optimal pathways and relationships between functional areas.
- Parametric and Visual Representation: The creation of two-dimensional and three-dimensional graphical-numerical models, along with the geographic/geometric information system, provides a comprehensive visual representation of internal hospital networks. This visual representation is crucial for analysing and understanding complex spatial relationships.
- Normalization and Standardization: The normalization of cost values to make matrices independent of hospital size ensures that relational data is consistent and comparable across different hospital configurations. This standardization is essential for generating functional-distribution schemes that align with future organisational and functional needs.
- Comprehensive Analysis Framework: The use of graphical analysis tools enables the integration of diverse data sources and facilitates the examination of both functional and spatial relationships within hospitals. This comprehensive analysis framework supports the development of efficient and high-quality hospital designs.

These methods facilitate the understanding of complex relationships and flows within hospital environments, leading to more informed and effective design decisions.

Notes

[1] These relationships are defined by the standard, in particular by the matrices of spatial and functional relationships constructed using the design of the ideal hospital proposed by Piano and Veronesi in 2001 as a reference.

[2] For the realisation of the hospital models on which the research is based, the vector drawing programme (Autodesk AutoCAD) was initially used for the pure modelling of the geometric components, which were then imported into a geographical/geometric information system (Esri ArcGIS Pro), implementing the geometric models with the integration of the information component.

Acknowledgements

The contribution started from the collaborative work with the Piedmont Region mentioned in the introduction and from the drafting of a Master's thesis in Construction Engineering that descended from it (Ferrauto R., *Models for hospital and healthcare buildings: generation of relational matrices for the verification of design alternatives and definition of functional distribution schemes*. Tutors: Giorgio Garzino, Maurizio Marco Bocconcino, Mariapaola Vozzola). The development and application of the research presented here in part involved various bodies and different skills that the working group would like to thank: for the Piedmont Region, the engineer Sandro Petruzzi, manager of the Investment Policies Sector of the Health and Welfare Directorate, and the architect Giada Turturro, the Azienda Zero Piedmont Region, the Local Health Authority Turin, the Local Health Authority Verbano Cusio Ossola, the City of Turin and the municipalities of Verbania and Domodossola.

References

- Belvedere F. (2011). *Lo spazio ospedaliero: tendenze in atto e indirizzi progettuali*. Tesi di dottorato, relatore Prof. Giuseppe Pellitteri. Università degli Studi di Palermo. <<https://www.cs.cmu.edu/~avrim/Papers/graphplan.pdf>> (accessed 10.09.2024).
- Blum A. L., Furst M. L. (1997). Fast Planning Through Planning Graph Analysis. In *Artificial Intelligence* n. 90 pp. 281–300 <<https://www.cs.cmu.edu/~avrim/Papers/graphplan.pdf>> (accessed 10.09.2024).
- Buzzi L. (2017). *Evoluzione delle caratteristiche strutturali e organizzative degli ospedali*. Tesi di Dottorato, relatore prof. Marcello Crivellini, Milano <<https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/137879>> (accessed 10.09.2024).
- Capolongo S. (2006). *Edilizia ospedaliera: Approcci metodologici e progettuali*. Milano: Hoepli.
- Donati C. (2009). Il progetto dell'ospedale. In *Modulo*, n. 351 <<https://modulo.net/it/approfondimenti/il-progetto-dellospedale#page/1>> (accessed 10.09.2024).
- Donato V. (2020). *Graph theory and BIM: a topological approach for building layout design*. Roma: Aracne.
- Fischer M. M. (2003). Gis and network analysis. In *Pergamon* <<http://hdl.handle.net/10419/116172>> (accessed 10.09.2024).

Lo Turco M., Tomalini A., Bono J. (2023). Un approccio euristico alla progettazione. Transizioni da algoritmi generativi a modelli parametrici / A Heuristic Approach to Design. Transitions from Generative Algorithms to Parametric Models. In M. Canella, A. Garozzo, S. Morena (Eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2914-2930.

Matei, F., Andronie L., Anamaria V. (2014). *Modelling a Logistic Problem by Creating an Origin-Destination Cost Matrix using GIS Technology*. <<https://www.researchgate.net/publication/311426568>> (accessed 10.09.2024).

Cavallari-Murat. A. (1967). La tipologia edilizia nelle molteplici caratterizzazioni tecniche dell'architettura. In *Atti della società degli ingegneri e degli architetti in Torino*, 21 (02), pp. 37-41.

Setola N. (2013). *Percorsi, flussi e persone nella progettazione ospedaliera: L'analisi configurazionale, teoria e applicazione*. <<https://www.researchgate.net/publication/339262840>> (accessed 10.09.2024).

Tsiliakou E., Dimopoulou E. (2016). 3D network analysis for indoor space applications. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W2), pp. 147–154. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-147-2016>>

Authors

Giorgio Garzino, Polytechnic of Turin, giorgio.garzino@polito.it.

Maurizio Marco Bocconcino, Polytechnic of Turin, maurizio.bocconcino@polito.it.

Mariapaola Vozzola, Polytechnic of Turin, mariapaola.vozzola@polito.it.

Rosa Ferrauto, Polytechnic of Turin, rosa.ferrauto@polito.it

To cite this chapter: Garzino Giorgio, Bocconcino Maurizio, Vozzola Mariapaola, Ferrauto Rosa (2024). Modelli per l'edilizia ospedaliera e sanitaria: studio dei grafi relazionali e disegno di schemi funzionali e distributivi/Models for hospital and healthcare buildings: study of graphs and drawing of functional and distribution diagrams. 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.. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3871-3892.

Il volume, dedicato al 45° Convegno Internazionale della Unione Italiana per il Disegno, cerca di fare il punto sullo stato dell'arte delle specificità del Disegno di misurare, anche attraverso nuove metodologie e inediti strumenti. Simultaneamente, invita a raccogliere le possibili contraddizioni inquadrando interrogativi e sfide cui esso stesso è chiamato ad agire con sempre più urgenza, collaborando con altri ambiti disciplinari nel porsi obiettivi rigorosamente misurati o smisurati, ma rilevanti per la sopravvivenza di molte specie, tra cui quella umana.

This volume, dedicated to the 45th International Conference of the Italian Union for Drawing, aims at taking stock of and advancing the current state of Drawing's relations to measuring, through new methodologies and new tools. Simultaneously, it invites scholars to collect the possible contradictions of these relations by framing questions and challenges to which Drawing itself is called to act with ever more urgency, collaborating with other disciplinary fields and defining goals both rigorously measurable and driftingly immeasurable, but anyway relevant for the survival of many species, including the human.

Francesco Bergamo *Università Iuav di Venezia*
Antonio Calandriello *Università Iuav di Venezia*
Massimiliano Ciammaichella *Università Iuav di Venezia*
Isabella Friso *Università Iuav di Venezia*
Fabrizio Gay *Università Iuav di Venezia*
Gabriella Liva *Università Iuav di Venezia*
Cosimo Monteleone *Università degli Studi di Padova*