

Philip Astley, The Bartlett School of Construction & Project Management, University College London, Regno Unito  
Stefano Capolongo, Marco Gola, Andrea Tartaglia, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito ABC, Politecnico di Milano, Italia

p.astley@ucl.ac.uk  
stefano.capolongo@polimi.it  
marco.gola@polimi.it  
andrea.tartaglia@polimi.it

**Abstract.** Le strutture sanitarie sono edifici complessi per la loro articolazione, organizzazione e attrezzatura tecnologica. Progettare un ospedale necessita di un approccio multidisciplinare al fine di organizzare in maniera efficiente l'edificio nel tempo e il progetto deve essere in grado di rispondere ai rapidi cambiamenti delle innovazioni nell'ambito della ricerca e le esigenze dello staff medico, soprattutto nelle unità di emergenza. Così, la flessibilità diventa un elemento chiave per tutti i cambiamenti dovuti al progresso delle conoscenze mediche e tecnologiche. Il lavoro analizza diverse strategie utili per il progetto dell'ospedale flessibile in ambito gestionale, progettuale, impiantistico, strutturale e tecnologico attraverso una matrice di analisi studiata dagli autori del paper.

**Parole chiave:** Flessibilità, Adattabilità, Strutture sanitarie, Strategie, *Open building*

## Introduzione

Una delle sfide più importanti che le strutture sanitarie devono affrontare è quella di essere resilienti ai cambiamenti economici, sociali e sanitari e, nello stesso tempo, garantire che il sistema, i servizi e le attività rispondano alle esigenze in costante evoluzione e alle specificità dei diversi luoghi geografici e modelli organizzativi. (Capolongo, 2006)

Il tema di questo *paper* sulla flessibilità, capacità di un edificio di rispondere ai cambiamenti a diversi cicli temporali, viene analizzato da diversi autori che affrontano questo argomento da un punto di vista multidisciplinare e che hanno realizzato alcuni lavori di ricerca, come ad esempio 'Flessibilità ambientale in ospedale'<sup>1</sup>, 'Sostenibilità ambientale in ospedale'<sup>2</sup>, '*Open Planning for Operationally Ready Emergency and Urgent Care, a multi-factorial framework*'<sup>3</sup>. In relazione alle tematiche sanitarie, la flessibilità negli ospedali esistenti e in fase di progettazione dovrebbe includere una visione multi-scalare del tema: infatti, per garantire una reale efficacia dei servizi erogati rispetto ai sistemi, i *trend*

epidemiologici, le esigenze sociali ed economiche in continuo cambiamento, è necessaria un'adattabilità che intrecci insieme il livello di pianificazione, il sistema di *network* dei servizi locali, gli edifici sanitari in cui vengono erogati i servizi e le unità ambientali mono-funzionali. Tutti questi livelli devono essere strutturati rispetto agli aspetti organizzativi e gestionali in modo adattivo e resiliente. (Lanzani et al., 2005) Anche la gestione di questi livelli durante le fasi di progettazione e di costruzione sono elementi che producono conseguenze significative durante l'operatività dell'edificio.

L'obiettivo del *paper* è quello di identificare un approccio progettuale che analizzi l'edificio e le unità ambientali alle diverse scale di progettazione. Negli ultimi decenni il concetto di flessibilità degli edifici di adattarsi al cambiamento è stato sviluppato e analizzato da diversi studiosi provenienti da diversi campi: si tratta dell'abilità di una struttura di poter cambiare le sue funzioni e ambienti nel breve, medio o lungo periodo, basato sui costi e le esigenze degli utenti. Questa capacità di adattamento può essere assicurata solo da un edificio progettato fin nella fase preliminare con aspetti tecnologici, strutturali e impiantistici orientati verso una flessibilità totale.

La rapida evoluzione della conoscenza medica e scientifica e degli strumenti tecnologici ha determinato che gli ospedali risultano essere già inadeguati qualche anno dopo la loro costruzione, e nelle blocchi operatori l'evoluzione tecnologica è talmente rapida che alcune componenti vengono riprogettate tra la periodo di messa in servizio e la fine del primo anno di occupazione. (Whelan et al., 2014)

## Operative and design adaptability in healthcare facilities

**Abstract.** Healthcare facilities are complex buildings because of their articulation, organization and technology equipment. Designing a hospital needs a multidisciplinary approach in order to organize efficiently the building during the time and the project needs to be able to answer to the rapid changes of the research innovations and demands of the hospital staff, especially in emergency units. In this direction, flexibility becomes the key point for all the changes due to the progress of medical and technological knowledge. The paper analyzes some useful strategies for flexible hospital project on managerial, planning, engineering plants, structural and technological issues through a matrix of analysis studied by the authors of the paper.

**Keywords:** Flexibility, Adaptability, Healthcare facilities, Strategies, Open building

## Introduction

One of the most important challenges that healthcare structures have to cope with is to be resilient to economic, social and medical changes and, in the same time, to ensure that the system, services and assets respond to the constantly changing needs and the specificities of the different geographical places and organizational models. (Capolongo, 2006)

The theme of this paper on flexibility, to mean the ability of a building to respond to service change to different time cycles, is analyzed by several authors who analyze this issue from a multi-disciplinary point of view and have realized some research works, such as '*Environmental flexibility in hospital*'<sup>1</sup>, '*Environmental sustainability in hospital*'<sup>2</sup>, '*Open Planning for Operationally Ready Emergency and Urgent Care, a multi-factorial*

*framework*'<sup>3</sup>. In relation to the health issues, the flexibility in operative and in design hospitals should include a multi-scale vision of the topic: in fact, ensuring real efficiency of the services provided with respect to continuously changing systems, epidemiological trends, social and economic needs, it is necessary flexibility weaves together the planning level, the network system of local services, the health buildings in which delivers all the services and the mono-functional environmental units.

All these layers should be structured with respect to organizational and managerial levels in an adaptive and resilient way. (Lanzani et al., 2005) Also the management of these levels during the design and construction phases are elements that produce significant consequences during the building in operation.

Pertanto, la flessibilità è diventata un tema essenziale che tutti gli ospedali esistenti e futuri devono perseguire; negli ultimi anni la ricerca nel settore della progettazione ospedaliera si è concentrata su sistemi altamente adattabili dalla scala tecnologica a quella strutturale, dagli impianti al livello funzionale. (Capolongo et al., 2009) Molti studi trovano soluzioni flessibili attraverso la realizzazione di spazi significativi che risultano essere essenziali per assicurare un alto livello qualitativo al numero crescente di richieste.

È chiaro pertanto che il progetto dell'ospedale, spesso inadatto a soddisfare le esigenze della sua complessità organizzativa, è soggetto a variazioni nel tempo. Diventa necessario definire soluzioni tecnologiche e costruttive che consentano la flessibilità dell'ambiente per poter garantire futuri cambiamenti con impatti minimi sull'edificio e gli utenti. La ricerca, qui riassunta, punta ad individuare soluzioni tecniche che possano fornire differenti livelli di flessibilità alle diverse scale del sistema ospedaliero e dell'edificio, delle unità funzionali e ambientali, in particolare, sia per i pazienti ricoverati e ambulatoriali sia per quelli dei reparti di emergenza e degli spazi di cura urgenti. (Tartaglia, 2003) Questi ultimi richiedono ambienti che devono essere progettati accuratamente per fornire relazioni che consentano processi semplici e flussi per far fronte alle diverse esigenze e all'aumento dell'uso di apparecchiature mobili. (Astley et al., 2014)

Lo studio sulla flessibilità nelle strutture sanitarie si localizza all'interno di alcuni lavori di ricerca che hanno l'obiettivo comune di trovare strategie e *output* su temi legati alla sostenibilità. Oggi il tema della flessibilità può essere affrontato in relazione agli aspetti ambientali, economici e sociali della sostenibilità e dell'innovazione, temi che sono all'ordine del giorno. La sosteni-

bilità risulta essere un altro tema significativo perché c'è una crescita evidente riguardo all'impatto dell'uomo sull'ambiente che assume dimensioni tali da rendere necessaria la ricerca di strategie che possano essere sostenibili alla scala globale, urbana e dell'edificio. (Capolongo et al., 2015)

### Modello di analisi

Il *paper* vuole dare un contributo alla conoscenza nell'ambito della progettazione di edifici flessibili e adattabili. Come alcuni studiosi sostengono, la complessità e l'interdipendenza tra i livelli dell'edificio e dei sistemi impiantistici sono fondamentali nell'individuazione di un obiettivo specifico per la fase operativa in quanto si tratta di edifici complessi e spesso in trasformazione; inoltre, la complessità avviene attraverso l'intera vita dell'edificio, la riconfigurazione e ristrutturazione, l'espansione e l'introduzione di nuove soluzioni tecnologiche. (Brand, 1995; Fawcett, 2011) L'analisi di alcuni casi di studio internazionali sul tema della flessibilità ha permesso una valutazione di strategie sviluppate negli ultimi decenni, come la componente impiantistica e strutturale, le tecnologie e le soluzioni di assemblaggio, che permettono di variare l'organizzazione degli ambienti e l'espansione degli spazi con costi ridotti e un minimo impatto sulle attività dell'ospedale. (Astley et al., 2011)

Lo stato dell'arte analizza il tema dell'edificio *open*, flessibile e adattabile e si concentra su soluzioni innovative, considerate applicabili in risposta ai cambiamenti, allo spazio, alle prestazioni, alla funzionalità, dimensione e posizione. (Schmidt et al, 2009) Il report pone attenzione non solo sugli spazi fisici, ma anche sulla pianificazione delle attività di assistenza sanitaria in grado di rispondere ai sistemi e servizi che cambiano. Lo studio per-

The goal of the paper is to identify a design approach that analyzes the building and environmental units at different planning scales.

In recent decades the concept of buildings' flexibility to adapt to service change has been developed and analyzed by many scholars from different study fields: it is the ability of a structure to be able to change its functions and environments in the short, medium or long term, based on the costs and needs of the users. This capacity for transformation can be ensured only by a building designed in the pre-design phase in accordance with technological, structural and plant engineering criteria specifically oriented towards the flexibility of the entity itself.

The rapid evolution of medical and scientific knowledge and technological instruments have determined that

healthcare buildings are already inadequate just a few years after their construction, and in surgical units the technological change is so rapid building specifications are re-designed through the commissioning period and within the first year of occupation. (Whelan et al., 2014)

As a consequence, flexibility has become an essential key point which all the operative and future hospitals must achieve; in recent years research in the healthcare building sector has been focusing on systems highly adaptable from the technological to the structural scale, from the building plant engineering to functional level. (Capolongo et al., 2009)

A lot of studies find flexibility solutions through the realization of significant spaces which are essential for ensuring high levels of quality to the growing number of new demands.

So it is clear hospital project, often unsuitable to meet the needs of the organizational complexity of a healthcare facilities, is subject to changes over time.

It becomes necessary to define technological and constructive solutions that permit the environmental flexibility to guarantee future changes with minimal impact on the entire building systems and users.

The research, summarized in the paper, aims to identify technical solutions that can provide different levels of flexibility, sub-divided into hospital systems, buildings, functional and environmental units; in particular both for inpatient and ambulatory wards and emergency and urgent care spaces. (Tartaglia, 2003)

The last ones require environments that must be carefully designed to provide a lot of relationships that enables

simple processes and flows to cope with the varying flux in demand and the increase in use of mobile equipment. (Astley et al., 2014)

The study on flexibility in healthcare facilities is located within some research works that have the common goal to find strategies and outputs on sustainability's topics.

Nowadays the flexibility issue can also be encountered in relation to the environmental, economic and social aspects of the sustainability and innovation, topics which are on the agenda.

Sustainability is another significant demand because there is an evident growth that the mankind's impact on the environment is assuming dimensions such as to make it necessary to search for strategies that can be sustainable at the global, urban and building levels. (Capolongo et al., 2015)

mette di creare una matrice di analisi (Tab. 1) in cui è possibile schematizzare il concetto flessibilità su cinque livelli differenti, suddivisi in:

1. Processo: l'insieme di processi per le fasi di progettazione e costruzione; (Tartaglia, 2005a)
2. Sistema Ospedaliero: l'insieme di tutti gli edifici e gli spazi esterni che definiscono la struttura sanitaria nel suo insieme;
3. Sistema Edificio: il singolo edificio riconoscibile all'interno del sistema più ampio;
4. Unità funzionale: l'insieme di unità ambientali raggruppate omogeneamente, organizzate per attività e funzioni;
5. Unità ambientale: il singolo spazio confinato distinguibile all'interno di un'unità funzionale. (Capolongo, 2012)

Ogni criterio offre diversi livelli di gestione, flessibilità spaziale e operativa in relazione alle scelte tipologiche-spaziali; infatti i livelli sono stati a loro volta suddivisi in: flessibilità a superficie costante, a superficie variabile e flessibilità (Tab.1).

Il Sistema Ospedaliero dovrebbe essere in grado di svilupparsi rispondendo ai cambiamenti nella sua organizzazione spaziale e funzionale e di espandere o ridurre facilmente gli spazi senza creare ostacoli o disagi alle attività. Inoltre, nei livelli di unità ambientali, la flessibilità gestionale è proposta come flessibilità d'uso, cioè la possibilità di modificare le modalità dell'utilizzo dello spazio, e adattabilità degli utenti, come la possibilità di modificare le caratteristiche ambientali.

La matrice di analisi può essere considerata un utile sistema di valutazione, applicato su alcuni ospedali selezionati per le loro caratteristiche di innovazione e adattabilità, e per aiutare i progettisti in fase di progettazione per il dimensionamento e la scelta di soluzioni costruttive che facilitino la flessibilità dello

**Analysis model**

The paper wants to contribute knowledge to the flexible and adaptable building design's field. As some scholars state, the complex and interdependence between building levels and engineering plant system layers are critical in creating a specific goal in operative phase as buildings are complex and frequently in transformation; moreover, complexity is through the whole life development, reconfiguration and refurbishment, expansion and new technology solutions. (Brand,1995; Fawcett, 2011)

The analysis of some international case studies on flexibility design has permitted an evaluation of the previous strategies developed in the last decades like plant and structural engineering, technologies and assembly solutions that allow to vary the organization of the environments and

the spaces' expansion with low costs and minimal impact on the activities of the hospital. (Astley et al., 2011)

The state-of-the-art debates in the field of open, flexible and adaptable building and it is focused on innovative solutions, considered applicable for response to changing task, space, performance, function, size and location. (Schmidt et al, 2009)

The report places attention not only on physical spaces but also on the healthcare assets' design capable to respond to changing systems and services. So the study permits to create a matrix of analysis (Tab. 1) in which it is possible to schematize the concept flexibility in five different levels, divided into:

1. Process: set of the processes to the design and construction phases; (Tartaglia, 2005a)
2. Hospital systems: set of all build-

LEVELS OF FLEXIBILITY	TYPES OF FLEXIBILITY	MANAGEMENT-TYOPOLOGICAL-SPATIAL STRATEGIES	
Process	Organizational flexibility	Project management	
		Construction management	
	Process flexibility	Competitive dialogue	
		Public and private dialogue	
	Contract flexibility	Standard agreement	
		Benchmark variability	
Hospital complex	Constant surface flexibility	Flexibility of access systems	
		Functional flexibility of the system	
		Reuse of the Hospital complex	
		Redundancy of space for plant	
	Variable surface flexibility	Existence of unused building land	
		Strategies for increasing the volume of individual buildings	
	Operational flexibility	Modular, replaceable and maintainable plant	
		Presence of networked information systems	
		The use of Building Automation and Control systems (for overall management)	
		The use of flexible contractual/financial arrangements	
			Outsourcing of support services
	Building	Constant surface flexibility	Existence of shell space for expansion
Structural flexibility			
Oversizing of load-bearing structures			
Modifiability of the envelope			
Presence of spaces for building plant infrastructure			
Flexibility and automation of segregated pedestrian routes			
Variable surface flexibility		Oversizing of load-bearing structures	
		The use of blank façades	
		Possibility of modular expansion	
		Tiered building	
Operational flexibility		Modular, replaceable and maintainable plant	
		The use of Building Automation and Control systems (at a building level)	
	Efficient programmed maintenance		
	Life Cycle Cost		
Functional Unit	Constant surface flexibility	The use of internal dry partition walls	
		The use of moveable internal walls and walls with wall-mounted fittings	
		The use of moveable internal partitions	
	Variable surface flexibility	Presence of spaces for service building infrastructure	
		Possibility of extending the entire Functional Unit upwards/sideways:	
		Presence of verandas/setbacks	
	Operational flexibility	Plant with flexibility of use	
Individual Room	Constant surface flexibility	Functional flexibility of the room	
	Variable surface flexibility	The possibility of extensions upward/sideways	
	Flexibility of use	Providing for multifunctional rooms	
		Plant for multifunctionality	
	Adaptivity to the user	Information systems services for multifunctionality	
The use of moveable furniture and vertical screening			
		Customisable humanisation of the room	

spazio e per permettere di attuare modifiche gestionali e progettuali senza alcun impatto sia sul layout e sugli ambienti sia sugli operatori e utenti.

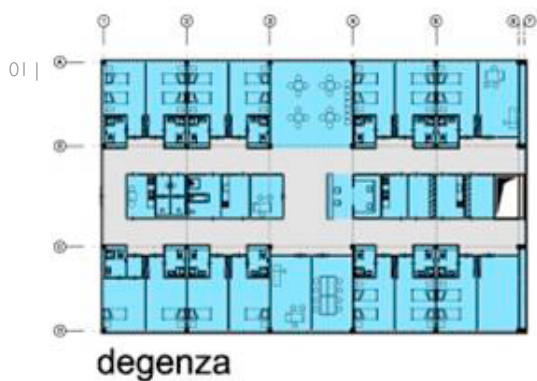
**Strategie per un nuovo scenario di metodologia progettuale**

La sfida per i progettisti ospedalieri è quella di definire come i flussi possano rispondere ai trend e alle esigenze mediche e,

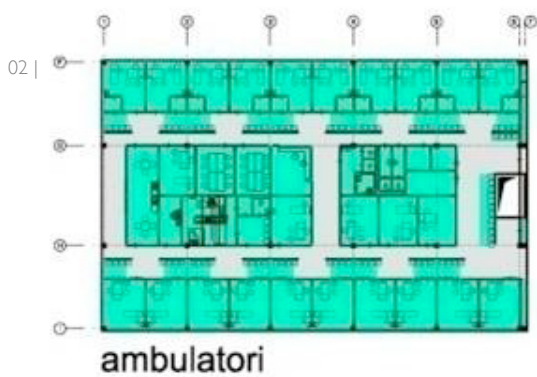
nel caso delle aree di emergenza, il trattamento di tipologie di pazienti con diverse esigenze di cura. Realizzare una struttura sanitaria flessibile e adattabile significa pertanto assicurare un'adeguata e continua capacità di trasformazione dell'edificio nel tempo, evitando lavori e modifiche costosi.

Una struttura sanitaria altamente complessa deve permettere i cicli quotidiani di variazione attraverso un layout flessibile che permette di allocare funzioni diverse nelle stesse trasforma-

ni spaziali e può permettere spazio e flessibilità gestionale nel medio e lungo termine. Inoltre, al fine di ottenere sistemi adattabili in ambito planimetrico, funzionale e spaziale, è necessario garantire sia una flessibilità costante e variabile. (Kendall, 2007) Dal punto di vista strutturale, un sistema modulare acquisisce un ruolo strategico perché permettono di trasformare il layout e la distribuzione nel tempo, sia a tutta la scala dell'edificio sia per le unità ambientali. Per esempio, questo approccio è stato applicato nel progetto dell'Istituto Clinico Humanitas: il layout è organizzato da sistemi di moduli intercambiabili che hanno permesso di trasformare gli ambienti, garantendo le necessità dei cambiamenti tecnologici e sanitari negli ultimi vent'anni (Fig. 1, Fig. 2); in particolare ciò è enfatizzato dal recente progetto del Centro Cascina Perseghetto che da edificio dedicato alla ricerca è stato trasformato in un centro ospedaliero per il ricovero, la diagnostica e con un blocco operatorio. (Gola, 2014)



01 | Schemi del progetto modulare di una degenza e di una dialisi, Techint spa, Healthcare department  
*Schemes of the modular project for inpatients ward and a dialysis area, Techint spa, Healthcare department*



02 | Schemi del progetto modulare di un'area per ambulatori e di una diagnostica per immagini, Techint spa, Healthcare department  
*Schemes of the modular project for an outpatient clinics and diagnostics' area, Techint spa, Healthcare department*





Queste tecnologie consentono la flessibilità costante e variabile e sono preferibili strutture realizzate in calcestruzzo armato o in acciaio con una griglia strutturale compresa tra 7 e 8 mt. (Kendall, 2007) Inoltre, una struttura sovradimensionata permette nel tempo di estendere le unità ospedaliere in maniera verticale o orizzontale aumentando così gli spazi attraverso piani aggiuntivi o estensioni laterali; un esempio è il progetto il Nuovo Ospedale di Legnano. In più, alcune tecnologie permettono di collegare moduli prefabbricati alla facciata, come avviene nel *Martini Hospital* di Groningen (Fig. 3), o di trasformare verande, terrazze o spazi per incrementare la dimensione degli ambienti. (Capolongo, 2012)

Un altro aspetto molto influente è il progetto impiantistico: infatti, la possibilità di apportare modifiche agli impianti nel tempo è fattibile ma richiede costi elevati. Questo disagio può essere controllato con l'introduzione di piani tecnici, botole ispezionabili e elementi divisorii modulari a secco, che permettono di facilitare l'inserimento e l'ispezione degli impianti e, allo stesso tempo, di eliminare l'interferenza della muratura e ridurre il tempo e costo di installazione.

Risulta molto utile distinguere le aree che richiedono una maggiore flessibilità di allestimento nel breve termine e dividere gli impianti delle aree complesse da quelle semplici. Ogni unità funzionale deve essere accessibile e permettere modifiche future e

ings and outdoor spaces that define the entire health facility network of services/complex;

3. Buildings: individual building recognizable within the larger system;
4. Functional Units: set of environmental units grouped all together, organized by activities, with the functions;
5. Environmental Units: individual confined space distinguishable within a functional unit. (Capolongo, 2012)

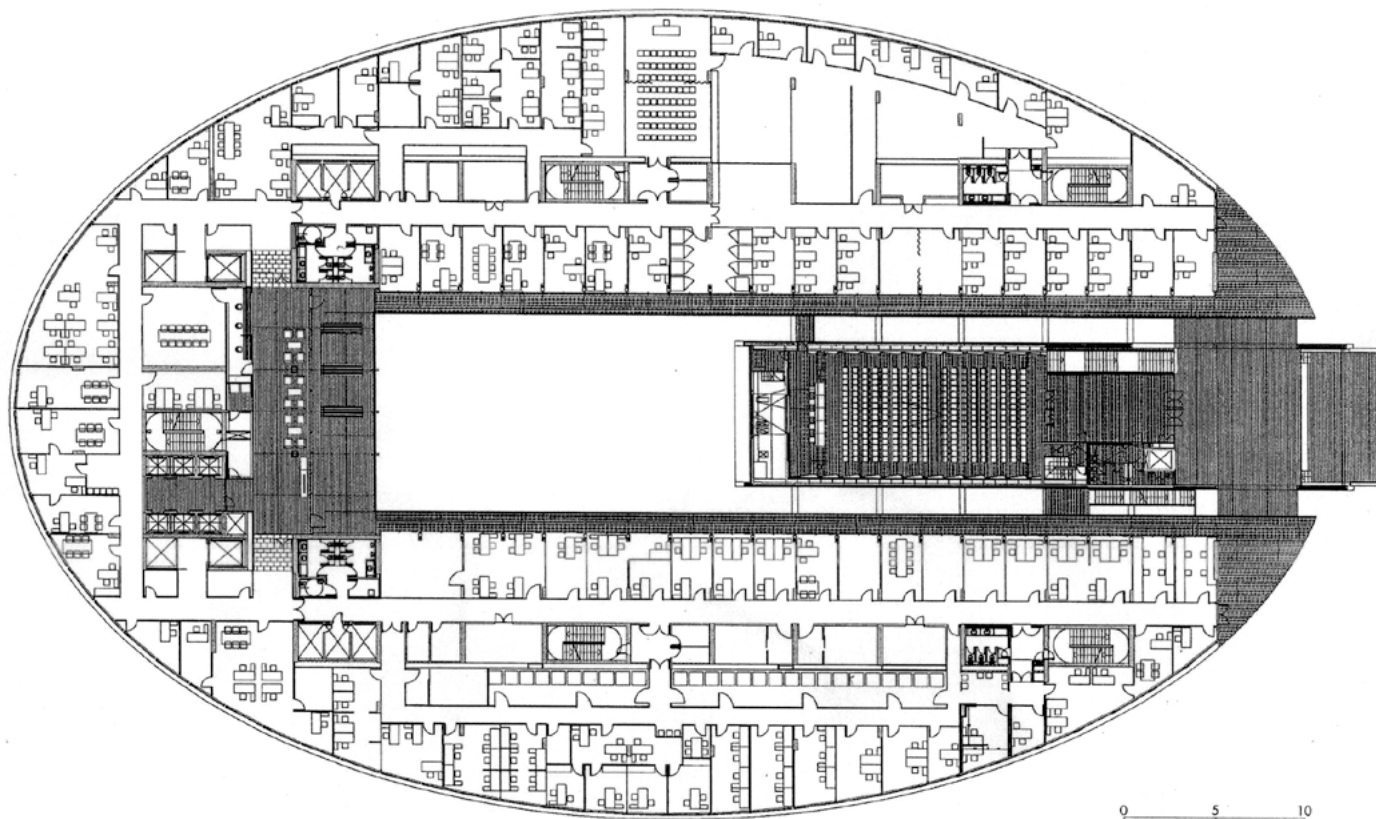
Each criterion offers different levels of management, spatial and operational flexibility in relation to the typological-spatial choices; in fact the levels were in turn subdivided into: spatial flexibility with constant surface, spatial flexibility with variable surface and management flexibility (Tab.1). The Hospital system should be able to evolve accepting changes in its spatial

organization and internal functions and to easily expand or reduce its spaces without creating any obstacles or discomfort to the activities.

Moreover, in the environmental units' level the management flexibility is designed as flexibility of use, possibility to modify the mode of space exploitation, and users' adaptively, the ability of the user to change the environment features.

The matrix of analysis can be considered an useful evaluation framework, applied in some hospitals selected for their innovation and adaptability characteristics, and to support the designers in designing phase for dimensioning and constructive solutions that facilitate space flexibility and to implement management and planning changes without any negative impact on the layout and environments, operators and users.

03 | Modulo di espansione della facciata del Martini Hospital, foto di Rob Hoekstra  
Façade hanging expansion modules of the Martini Hospital, photo by Rob Hoekstra



deve essere in grado di soddisfare tutti i requisiti, come ad esempio l'aria condizionata in base alle attività da svolgersi, sistemi flessibili per la distribuzione di energia, ecc. Il PRBB (*Barcelona Biomedical Research Park*) è costituito da un edificio a pianta libera per ogni piano (Fig. 4) e gli impianti passano nei controsoffitti o pavimenti sopraelevati che consentono la flessibilità della struttura costante. (Capolongo, 2012)

È ottimale la presenza di un progetto impiantistico con flessibilità d'uso, in particolare nelle aree dedicate per le attività diagno-

stiche e di trattamento: gli impianti dovrebbero essere utilizzati razionalmente ed efficientemente sulla base delle normative per ogni unità medica. Anche il progetto di vani tecnici ubicati in punti strategici può facilitare l'ottimizzazione della distribuzione spaziale e può garantire la disponibilità di grandi aree, rendendo così i percorsi più efficienti.

Le strategie che facilitano l'inserimento e l'ispezione degli impianti, allo stesso tempo eliminano interferenza con la muratura e riducono i tempi e costi di installazione. Molti casi di studio

#### Strategies for a new scenario of design method

The challenge for hospital planners is to define how flows respond to medical trends and needs and, in the case of emergency areas, to treating a range of patients with varying care needs. Therefore, creating a flexible and adaptive healthcare facility means to ensure an adequate and continuous flexibility ability of the building over time, avoiding costly destruction and rebuilding construction.

A highly complex healthcare structure needs to encourage daily cycles of change through a flexible layout that permits to allocate different functions in the same space and spatial transformations can allow space and management flexibility in the medium and long term. Moreover, in order to obtain adaptable systems for planimetric, functional and spatial aspects, it is

necessary to guarantee both constant and variable flexibility. (Kendall, 2007)

From the structural point of view, a modular system has a very strategic role because it allows to transform the layout and distribution during the time, both at the whole building scale and the environmental units' one. For example, this approach was applied in the project of Humanitas Clinical Institut: the layout is organized by modular and replaceable plants that have permitted to transform the environments guaranteeing technological and scientific changes' needs of the last twenty years (Fig. 1, Fig. 2); in particular this aspect is emphasized by the recent '*Centro Cascina Perseghetto*' project building that starting from a research function was transformed in a new hospitalization, diagnostic and operating rooms' hospital. (Gola, 2014)

04 | Piano terra del centro PRBB, De Pineda A., PRBB di Barcellona  
Floor plan of the PRBB centre, De Pineda A., PRBB of Barcelona



dimostrano che l'introduzione di sistemi di automazione e controllo dell'edificio è molto utile per il personale ospedaliero per gestire l'ambiente interno, la pianta dell'edificio, la sicurezza e le comunicazioni. (Buffoli et al, 2012)

Un altro aspetto molto influente nel layout e nella distribuzione interna è la presenza di partizioni interne stratificate a secco, partizioni e pareti mobili. Queste tecnologie consentono una riorganizzazione spaziale e funzionale di un'unità in tempi ridotti e permette il riutilizzo di singoli componenti senza alcun effetto invasivo sulla struttura. Nel caso delle pareti a secco, vengono messi insieme con tecnologie di fissaggio meccaniche che non necessitano di colle e sigillanti possono essere smontati e reinstallati. (Capolongo et al, 2013) Diversamente, la presenza di pareti mobili richiede di spostare i componenti, come partizioni scorrevoli, girevoli o telescopiche.

Essi garantiscono di essere unità trasformabili che possono essere utilizzate per la suddivisione temporanea di una stanza in due o più sezioni. (Astley, 2009) Questa strategia permette di cambiare il modo in cui lo spazio può essere utilizzato tra camere adiacenti, conciliando e separando diverse stanze contigue temporaneamente. Questa soluzione può essere utile nel caso delle aree di emergenza e oggi diversi studiosi stanno analizzando scenari di progettazione e sistemi di separazione, a partire dall'*open building*, utilizzando conoscenze acquisite da alcuni casi di studio nel Regno Unito, Stati Uniti e Sud Africa. (Astley et al., 2014)

In relazione agli ultimi riferimenti, anche l'introduzione di attrezzature mobili e schermature verticali può essere fortemente promosso: infatti permettono di modificare lo spazio a seconda delle necessità, come la creazione di sottozone in una terapia intensiva o dividere una stanza in più aree o schermare alcune

attività che richiedono una certa riservatezza. Queste strategie però possono essere attuate solo se le funzioni in prossimità non richiedano un elevato isolamento acustico. (Tartaglia, 2002)

La possibilità di trasformare i *layout* di locali e unità deve considerare anche la presenza di sistemi informativi perché spazi con diverse funzioni hanno bisogno di tutti i sistemi informatici e apparecchiature ICT, utili sia per i pazienti che per i *care givers*, e devono essere progettati considerando la multifunzionalità dei locali. Pertanto, al fine di garantire pareti e display interattivi come i *Life o Touch Wall*, è preferibile l'inserimento di partizioni multifunzionali e divisori che integrino già sistemi e apparecchiature ICT, come avviene nel PRBB di Barcellona. (Capolongo, 2012; Tartaglia, 2005b)

Nel concetto di flessibilità, può essere utile prevedere sale polifunzionali, spazi utilizzati ciclicamente per le diverse attività, sia per le attività quotidiane sia per quelle di emergenza: nel primo caso i luoghi che non sono usati costantemente, come le sale visita che potrebbero essere trasformate in aree per consulenze, incontri, uffici temporanei o associazioni di volontariato, e viceversa; nel secondo caso, il progetto per spazi di emergenza che richiedono una serie di spazi che garantiscano l'espandibilità, la disponibilità di attrezzature, la circolazione e comunicazione tra le unità. (Astley et al, 2014; Capolongo, 2012)

In ogni caso, la presenza di spazi liberi per la nuova costruzione di edifici, l'uso di spazi non ancora completati o spazi polivalenti diventa fondamentale per assicurare, nel tempo, la possibilità di trasformare molti ambienti non previsti in fase di progettazione e sfruttabili se necessario (Capolongo et al., 2009); anche le comunicazioni wireless, i sensori digitali e le tecnologie mobili che in tutte le strutture sanitarie, seguendo il paziente in tempo reale,

These technologies permit the constant and variable flexibility and structures realized with reinforced concrete or steel are preferable with structural grid between 7 and 8 mt. (Kendall, 2007)

Additionally, an oversized structure allows during the time to extend the hospital units upwards or sideways increasing the spaces through additional floors or lateral extensions; an example is the project of the New Hospital of Legnano. Moreover, some technologies permit to attach new prefabricated modules to the façade, i.e. the Martini Hospital project in Groningen presents (Fig. 3), or to transform verandas, terraces or setbacks spaces for improving the dimension of the environments. (Capolongo, 2012)

Another very influential aspect is the engineering plants' project: in fact, the opportunity to make modifications to the plants during the times is achiev-

able but it constitutes high costs. This unease can be reduced with the introduction of technical floors, trapdoor inspected and assembled dry modular dividers, that permit to facilitate the insertion and inspection of the plants and, at the same time, to eliminate the interference of the masonry and reduce the time and cost of installation.

It would be very useful to distinguish the areas that need greater flexibility in the short term fit-out and separate the areas with complex plants from the simple ones. Each functional unit must be accessible and capable of future modification and it must be capable to guarantee all the requirements are met, for example air conditioning based on the activities being carried out, flexible systems for delivering power, etc. The Barcelona Biomedical Research Park (PRBB) provides a building with free plan for each floor (Fig.4) and the

plant infrastructure passes through suspended ceilings or raised floors permitting the constant flexibility of the structure. (Capolongo, 2012)

It is preferable the presence of engineering plant with flexibility of use, especially in the specific areas dedicated for treatment and diagnosis activities: it should be possible the building plant to be used rationally and efficiently on the basis of the regulations for each medical unit. Also the project of technical rooms located in strategic positions may facilitate the optimization of the spatial distribution and it can guarantee the availability of large areas, making paths more efficient. Strategies that facilitate the insertion and inspection of the plants at the same time eliminate the interference of the masonry and reduce the time and cost of installation. Many case studies demonstrate that the introduction of Build-

ing Automation and Control systems is very useful hospital staff for managing the indoor environment, the building plant, security and communications. (Buffoli et al, 2012)

Another quite influential aspect in the internal layout and distribution is the presence of multi-layer internal dry and moveable partitions and walls. These technologies are enable spatial and functional reorganisation of a functional unit in short term and permit the reuse of the singular components without invasive effect on the building structure. In the case of dry walls, they are put together with mechanical fixing technologies that don't necessitate of glues and sealants, they can be dismantled and reinstalled. (Capolongo et al., 2013) Differently the presence of moveable partitions requires to move the components, like sliding, swivelling or telescopic parti-

possono diventare uno strumento funzionale per consentire una trasformazione flessibile degli spazi ospedalieri, ma oggi si osserva che molti richiedono ancora di attacco a punti di luce e acqua. Le strategie per scenari e metodi di pianificazione basati sulle strategie per la flessibilità sono così numerose e diversificate e la loro combinazione deve garantire un elevato livello di adattabilità delle strutture sanitarie. Le strategie di gestione del progetto devono essere progettate al fine di raggiungere elevate prestazioni e tutti gli aspetti della sostenibilità economica, ambientale e sociale; mentre la comprensione di tutti questi obiettivi si possono ottenere solo se vi è efficiente manutenzione programmata nel tempo.

## Conclusioni

Le analisi condotte concentrano l'attenzione su nuovi approcci di progettazione per l'ambito sanitario ai diversi livelli coinvolti nel progetto come l'urbanistica, l'uso del suolo, l'architettura e la costruzione. Infatti, i cambiamenti emergenti nell'ambito tecnologico e il continuo miglioramento delle conoscenze scientifiche e mediche richiedono agli ospedali di adattare la loro struttura formale e funzionale nel tempo, creando edifici non troppo compatti ma flessibili nel breve, medio e lungo termine. Le indicazioni sulle strategie di progettazione, le tecnologie, gli impianti e il progetto del layout negli ospedali permettono di identificare come i progettisti possano realizzare un ospedale a misura d'uomo, capace di modificare al suo interno e all'esterno il complesso ospedaliero nel tempo. La definizione di un edificio rispetto alla sua posizione e alle scelte strategiche in fase di progettazione permette di garantire elevati livelli di servizio e una pianificazione della flessibilità per il futuro.

tions. They guarantee to be transformable units which are used for the temporary sub-division of a room into two or more sections. (Astley, 2009) This strategy allows to change the way the space can be used between adjacent rooms and temporarily, combining and separating different contiguous rooms. This solution can be useful in the case of emergency areas and nowadays some scholars are studying scenario planning and systems separation, starting from open building, using knowledge gained from some case studies in UK, USA and South Africa. (Astley et al., 2014)

In relation to the last suggestions, also the introduction of moveable furniture and vertical screening is strongly promoted: in fact, their usage permits to modify the space depending on the necessities such as creating sub-areas in intensive care or dividing a room

into sub-areas or to screen off some activities that require privacy. These strategies can be implemented only if the functions in the neighboring do not require a high sound insulation. (Tartaglia, 2002)

The possibility of changing rooms and units' layout must also consider the presence of information systems services because flexible spaces need all the information systems and ICT equipment useful for both patients and care givers and they must be designed considering the rooms' multi-functionality. Therefore in order to ensure interactive walls and displays such as Life or Touch Wall, it is preferable the insertion of multifunctional partitions and dividers which integrate the ICT systems and equipment, as the PRBB in Barcelona presents. (Capolongo, 2012; Tartaglia, 2005b)

In the concept of flexibility, it can be

Attualmente i *trend* pongono la loro attenzione nell'ideare strutture facilmente adattabili alle nuove esigenze del tempo senza influenzare le attività del personale sanitario e degli utenti. Come dimostra lo stato dell'arte, uno dei principi fondamentali dell'ospedale del futuro è la più grande flessibilità delle strutture ospedaliere e, in questa visione, i progettisti saranno chiamati sempre più a rispondere ai cambiamenti tecnologici e scientifici. La ricerca sul tema necessita ancora di essere approfondita, definendo strategie nel campo dell'*open building* in fase di progettazione e l'applicazione e dimostrazione della flessibilità delle strutture sanitarie nel corso del tempo. Inoltre gli studi dovrebbero concentrarsi su una visione multi-scalare della flessibilità, cercando di recuperare le diverse fasi del progetto incluse la fase di progettazione e il sistema di rete dei servizi locali.

## NOTE

<sup>1</sup> PRIN (Programma di Ricerca di Interesse Nazionale) 2007. Unità di ricerca del Politecnico di Milano: Pizzi E., Buffoli M., Canzi M., Chiara L., Iannaccone G., Mussinelli E., Plantamura F., Schiaffonati F., Stevan C., Tartaglia A., Tronconi O.

<sup>2</sup> PRIN (Programma di Ricerca di Interesse Nazionale) 2009. Unità di ricerca del Politecnico di Milano: Tronconi O., Adhikari R., Aste N., Astolfi J., Buffoli M., Butera F., Capolongo S., Chiesa G., Ciaramella A., Del Gatto M.L., Morena M., Nachiero D., Tartaglia A. and Signorelli C.

<sup>3</sup> Phil Astley (Referente principale) commissionato dal programma *HaCIRIC (Health and Care Infrastructure Research and Innovation Centre)* e finanziato dal *EPSRC (Engineering and Physical Science Research Council)*; contributo (EP/D039614/1 and EP/I029788/1) *New approaches to open systems design, open building and scenario planning.*

useful to provide for multi-functional rooms, spaces used cyclically for different activities both for daily activities and emergency care departments: in the first case the places that are not in constant use, like consulting rooms could transform areas for interviews, meetings, temporary offices or voluntary associations, and vice versa; in the second case, the acuity adaptable design require a range of spaces that guarantee the expandability, equipment availability, inter-unit circulation and communication. (Astley et al., 2014; Capolongo, 2012)

In any case, the presence of free spaces for new buildings construction, the use of spaces not yet completed or multi-purpose spaces becomes fundamental to ensure, during the time, the possibility of transforming many environments not foreseen at the design stage and exploitable if it is necessary (Ca-

polongo et al., 2009); also the digital wireless and sensor communications and mobile technologies which in all health setting, following the patient in real time, can become useful instrument for allowing flexible changing of hospital spaces, but nowadays it is observed that many still require docking points to electricity and water. The strategies for scenarios and planning methods based on the strategies for flexibility are so numerous and diversified and their combination needs to ensure a high level of adaptability of healthcare facilities. Project management strategies need to be designed in order to reach high indoor performance and all the aspects of the economic, environmental and social sustainability; whilst understanding all these goals can be obtained only if there is efficient programmed maintenance during the time.



## REFERENCES

- Astley, P. (2009), "Beyond estates strategy? Beyond Master Planning? Open planning for future healthcare environments", *Changing Roles: New Roles, New Challenges*, 5-9 October, Hoofdstraat, Noordwijk.
- Mills, G. and Price, A. (2011), "Open infrastructure planning for emergency and urgent care", paper presented at the Architecture in the Fourth Dimension. Boston, Usa.
- Astley, P., Mills, G.R., Hind, R. and Price, A.D.F. (2014), "Open Emergency Systems through Acuity-Adaptive Design", paper presented at the UIA Architecture Otherwhere Conference, Durban, South Africa.
- Brand, S. (1995), *How Buildings Learn? What happens after they're built?*, Penguin Books, London, UK.
- Buffoli, M., Nachiero, D. and Capolongo, S. (2012), "Flexible healthcare structures: analysis and evaluation of possible strategies and technologies", *Annali di igiene, medicina preventiva e di comunità*, Vol. 24 No. 6, pp. 543-552.
- Capolongo, S. (2006), *Edilizia ospedaliera. Approcci metodologici e progettuali*, Hoepli, Milano, Italia.
- Capolongo, S. (2012), *Architecture for flexibility in healthcare*, Franco Angeli, Milano, Italia.
- Capolongo, S., Bottero, M., Buffoli, M. and Lettieri, E. (Eds) (2015), *Improving Sustainability During Hospital Design and Operation*, Springer, Green Energy and Technology, Cham, Switzerland.
- Capolongo, S., Buffoli, M., Oppio, A., Nachiero, D. and Barletta M.G (2013), "Healthy indoor environments: how to assess health performances of construction projects", *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 12 No. S11, pp. 209-212.
- Capolongo, S., Schiaffonati, F. and Tartaglia, A. (2009), "Functional layout for a new hospital organization", in Del Nord, R. (Ed), *The culture for the future of healthcare architecture*, Alinea Editrice, Florence, Italy, pp. 197-201.
- Fawcett, W. (2011), "The Sustainable Schedule of Hospital Spaces: investigating the 'duffle coat' theory of flexibility", in Rassa, S. and Pardalos, P. (Eds.), *Sustainable Environmental Design in Architecture: Impacts on Health*, Springer Optimization and its Applications 56, Springer Science+Business Media, pp. 1-16.
- Gil, N. and Tether, B. (2011), "Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity", *Research Policy*, Vol. 40 No. 3, pp. 415-428.
- Gola, M. (2014), *Sperimentare la flessibilità*. Master di II livello in Pianificazione, programmazione e progettazione dei sistemi ospedalieri e socio-sanitari, Politecnico di Milano.
- Kendall, S. (2007), "Open Building: A Systematic Approach to Designing Change-Ready Hospitals", *Healthcare Design Magazine*, Healthcare Design, pp. 27-33.
- Lanzani, S. and Tartaglia, A. (Eds) (2005), *Innovazione nel progetto ospedaliero. Politiche strumenti, tecnologie*, Libreria Clup, Milano, Italia.
- Schmidt, R., Eguchi, T., Austin, S. and Gibb, A. (2009), "Adaptable Futures: A 21<sup>st</sup> Century Challenge", paper presented at the Changing Roles, New Challenges, Noordwijk AAN ZEE, The Netherlands.
- Tartaglia, A. (2002), "Ospedale universitario, Innsbruck: nuove strutture per una chirurgia innovativa", *Tecnica Ospedaliera*, No. 10, pp. 40-45.
- Tartaglia, A. (2003), "Degenze pediatriche: lineamenti metaprogettuali", *Tecnica Ospedaliera*, No. 1, pp. 44-50.
- Tartaglia, A. (2005a), *Project financing e Sanità: processi, attori e strumenti nel contesto europeo*, Libreria Clup, Milano, Italia.
- Tartaglia, A. (2005b), "All'insegna dell'ICT: Policlinico Essen-Mitte", *Tecnica Ospedaliera*, No. 4, pp. 44-48.
- Whelan, E., Astley, P., Whinnett, J., Symons, A. and Hind, R. (2014), "Project Design Evaluation for Great Ormond Street Hospital Surgical Unit", *Internal Client Report, Great Ormond Street Children's NHS Trust*, Medical Architecture Research Unit, London, UK.

## Conclusion

The analyses conducted draw the attention to new design approaches for the healthcare sector at the various levels involved in the project like town planning, land use, architecture and construction.

In fact, the emerging changes in technology and the continuous improvement of the scientific and medical knowledge require the hospitals to adapt over time their formal and functional structure, thus creating buildings not too compact but flexible in the short, medium and long term.

The suggestions on the design strategies in health structures, technologies, engineering plants and architectural plans give rise to identify how hospital planners can realize a hospital at the human scale, capable to modify its internal and external hospital buildings during the time.

The definition of a building within its strategic location and key choices in designing phase allow to guarantee high levels of service and planning for flexibility in the future. Nowadays the trends direct their attention to create facilities easily adaptable to the new requirements over time without influencing the medical staff and users' activities.

As the state-of-the-art demonstrates, one of the fundamental principles of the future hospital is the greatest flexibility of healthcare facilities and, in this direction, the designers will be called upon to guarantee technological and scientific changes' needs.

The search still needs to examine in depth the issue, looking for strategies in open building's field of planning at levels for change and the application and demonstration of the health facilities' flexibility over time.

In addition studies should focus on the multi-scale vision of flexibility, trying to recover the multi-scaling of the project included in the planning stage and the network system of the local services.