

Università Iuav di Venezia

Scuola di dottorato in Architettura, Città e Design  
[Nuove Tecnologie per la Città, il Territorio e l'Ambiente](#)  
ciclo XXXI

**Il *Building Information Modelling* da metodo a processo**  
**La realizzazione della nuova metro di Doha**

Coordinatore del curriculum e tutor  
Prof. Fabio Peron  
Tutor esterno  
Ing. Giuseppe Muscolino

Dottorando  
Arch. Marco Nonveiller



## 0.0 Premessa

## 0.1 Introduzione

### 1. L'approccio model oriented nel BIM

#### 1.1 Il *Bulding Information Model* come prodotto

#### 1.2 Il *Bulding Information Modelling* come processo

### 2. Il flusso processuale impiegato nel *Building Information Modelling*: da prodotto a processo

### 3. Strategie nazionali e diffusione del BIM: un quadro di sintesi

### 4. Il progetto di realizzazione della nuova metro di Doha: l'approccio processuale in un caso emblematico

#### 4.1 Design: il modello dell'*Architectural Branding Manual* di UNstudio

#### 4.2 Costruzione

##### 4.2.1 Coordinamento avanzato tra discipline

##### 4.2.2 Individuazione delle interferenze: la *clash detection*

##### 4.2.3 Metodologie di risoluzione dei *clash*: un processo ciclico

#### 4.3 Complessità e cantiere: dal design parametrico alla costruzione

##### 4.3.1 Le *complex geometries* e la realizzazione delle volte a partire dai modelli BIM costruttivi

### 5. BIM standard e *guidelines*

#### 5.1 Il modello di riferimento impiegato nel progetto della metro di Doha

#### 5.2 COBie: le informazioni operative per i piani di manutenzione nelle linee guida di Qatar Rail

## 6. Conclusioni

## Riferimenti bibliografici





## 0.0 Premessa

Il percorso di ricerca intrapreso si focalizza sui processi innovativi sottesi agli ambiti del progetto e delle costruzioni; in particolare, alle tecnologie informative intese quali strumenti conoscitivi che consentono una piena sinergia tra i diversi soggetti coinvolti nel processo attraverso la condivisione di un modello digitale. Un modello informativo su cui convergono una pluralità di dati afferenti alle differenti discipline coinvolte, dall'ideazione dell'edificio alla sua dismissione attraverso l'intero ciclo di vita: a partire dagli aspetti geometrici, dalle strutture e dai materiali impiegati, agli impianti e alle caratteristiche energetiche, ai costi, alla gestione, alle successive manutenzioni periodiche, per arrivare alla sua demolizione o ad un eventuale processo rigenerativo di riciclo.

L'intento della ricerca è quello di fornire un contributo metodologico di tipo induttivo che possa consentire di verificare, tramite un'esperienza diretta, l'approccio *BIM-oriented* applicato al processo di realizzazione di un'importante opera infrastrutturale. L'approccio metodologico impiegato ha tentato dunque di sistematizzare il flusso processuale sotteso al *Building Information Modelling*, indagando tale processo attraverso un caso studio reale ed emblematico.

I processi costruttivi sono caratterizzati, oggi sempre più, dal coinvolgimento di numerosi attori afferenti alle diverse discipline e ai diversi saperi coinvolti, dall'ideazione, alla progettazione, alla costruzione, alla verifica e alla gestione; in quest'ottica l'approccio *model-oriented* sotteso al metodo BIM consente una significativa ottimizzazione dei processi grazie alla condivisione, anche in tempo reale, di dati e informazioni conferiti in un modello digitale.

L'obiettivo è quello di dimostrare i vantaggi metodologici e processuali nell'applicazione dell'approccio integrato gestito tramite il *Building Information Modelling* nel settore delle costruzioni.

Durante la formazione dottorale ho avuto l'opportunità di approfondire tale approccio trascorrendo diversi mesi in Qatar e prendendo parte al processo progettuale e costruttivo della nuova metro di Doha; in particolare, come consulente per un'importante società di architettura e ingegneria, mi sono occupato in qualità di Design Coordinator in fase costruttiva, della gestione e dell'implementazione dei modelli BIM e dei disegni costruttivi delle finiture architettoniche durante la realizzazione delle due *Major Stations*: le stazioni di Msheireb e di Education City.

Il processo progettuale, costruttivo e gestionale di un'opera infrastrutturale complessa è caratterizzato da un alto grado di multidisciplinarietà nonché dalla presenza di numerosi attori della filiera coinvolti nell'esecuzione e nella realizzazione

attraverso un approccio *Model oriented*. Il *Qatar Integrated Railway Project* (QIRP), tra cui la realizzazione della nuova metro di Doha, rappresenta certamente uno dei più significativi progetti infrastrutturali attualmente in fase di realizzazione in cui l'intero processo progettuale e costruttivo, dall'ideazione alla realizzazione, è concepito e sviluppato attraverso l'impiego del *Building Information Modelling*.

L'analisi del caso studio individuato, inerente la progettazione e la costruzione delle due stazioni principali della nuova metropolitana di Doha, seguirà un approccio analogo al flusso processuale impiegato nel *Building Information Modelling: Design, Construction e Facility Management*; partendo quindi dall'*Architectural Branding Manual* elaborato da UNstudio in fase di concept (Design), analizzando la fase realizzativa (coordinamento tra discipline, interferenze, metodologie di risoluzione dei clash), valutando infine l'aspetto gestionale dal punto di vista dei requisiti del cliente e del *Facility management*.

Si cercherà inoltre di presentare un approfondimento specifico per mostrare concretamente quanto la complessità progettuale e costruttiva possano essere gestite e risolte attraverso un processo di modellazione *BIM-oriented* e come, grazie a questo, si sia giunti alla fabbricazione di alcuni elementi strutturali da assemblare in cantiere attraverso il *computational design* applicato alla generazione di geometrie complesse. Le strutture a volta delle stazioni della metro di Doha, elemento centrale e identificativo del brand dell'intera rete infrastrutturale, seguono infatti regole geometriche predeterminate che ben si adattano ad essere generate attraverso un processo progettuale computazionale gestito da algoritmi.

## 0.1 Introduzione

L'oggetto della ricerca sono i processi<sup>1</sup> sottesi al *Building Information Modelling* nella realizzazione di un progetto complesso in cui sono coinvolti una pluralità di soggetti, ciascuno afferente ad una specifica disciplina (architettura, strutture, impianti, etc.), attraverso un approccio *Model oriented*, tramite quindi la condivisione di un modello coordinato e aggiornato da tutti gli attori afferenti al processo costruttivo.

Il contributo della tesi è quello di indagare un approccio metodologico BIM (inteso come *Building Information Modelling*) nell'ottimizzare i metodi e i processi sottesi alla realizzazione di un'opera complessa quale un progetto di infrastrutture.

Il metodo utilizzato è di tipo induttivo, verificando quindi tale processo attraverso l'esperienza diretta e un caso emblematico di indagine: la fase costruttiva gestita interamente in BIM per la realizzazione delle due *Major Stations* di Msheireb e di Education City nell'ambito della nuova metro di Doha.

---

<sup>1</sup> "Processi sembrano essere, senza dubbio, alla base dell'Information Modelling, o meglio della sua più corretta e meno strumentale, concezione." (Ciribini 2016, pag.10 "BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito", Grafill)



## 1. L'approccio model oriented nel BIM

### 1.1 Il *Building Information Model* come prodotto

Il BIM, inteso come *Building Information Model* (e non *Modelling*), può essere inteso come il metodo progettuale il cui fine è la generazione di un prodotto. In questo caso il prodotto può limitarsi a un modello tridimensionale di rappresentazione digitale fisica e funzionale, diretta evoluzione dei sistemi CAD (*Computer-Aided Design*), dove il modello 3D costituisce il livello più alto del processo progettuale.

I disegni CAD 2D, e la loro diretta evoluzione in modelli geometrici tridimensionali, si limitano a descrivere la forma dell'edificio e sono di fatto strumentali alla presentazione e alla visualizzazione di oggetti in modo descrittivo<sup>2</sup>. L'*Information Modelling* rappresenta di fatto l'evoluzione dei sistemi CAD 2D e 3D, attraverso l'impiego di sistemi parametrici in grado di rendere il modello un elemento modificabile, manipolabile e adattabile, e attraverso una pluralità di informazioni attribuibili a ciascun oggetto e a ciascuna componente, nonché alle relazioni tra essi (proprietà geometriche, fisiche, costruttive, economiche, energetiche, manutentive, etc.).

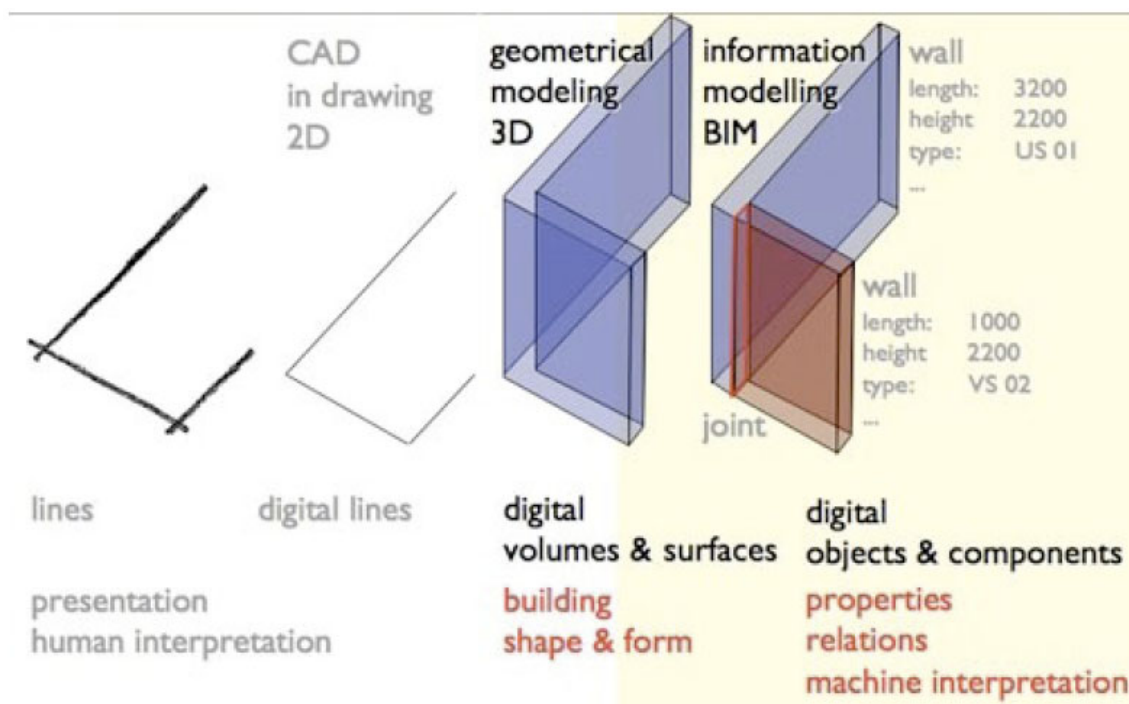


Illustrazione 1: L'evoluzione dei sistemi CAD verso modelli informativi BIM (fonte Penttilä, 2009)

<sup>2</sup> Penttilä 2009.

Il termine *Building Information Modeling*, per indicare l'evoluzione dei sistemi CAD in BIM e definire un nuovo paradigma nel mondo delle costruzioni, viene usato inizialmente da Phillip Bernstein<sup>3</sup> e in seguito diffuso e divulgato da Jerry Laiserin<sup>4</sup> a partire dal 2002. Laiserin si sofferma in particolare sul necessario superamento del termine CAD (*Computer-Aided Design*), non più sufficiente a descrivere l'ampiezza e la profondità del processo progettuale che si basa su di una modellazione "intelligente", dove la simulazione prende il posto della visualizzazione. L'autore parte dall'analisi della terminologia utilizzata da produttori e programmatori di software per indicare i sistemi evoluti di modellazione 3D che soppianderanno i sistemi CAD. Da qui la preferenza di Laiserin per il termine "*building*" rispetto a "*project*", in quanto proprio del mondo delle costruzioni di edifici e rimando più diretto ad un processo complesso, a cui ascrivere non solo il design, ma anche la costruzione e il successivo funzionamento; "*information*", per l'analista industriale americano, suggerisce chiaramente l'indicazione di un software in grado di superare la semplice struttura geometrica dell'oggetto; "*modeling*" rimanda infine a sistemi di modelli fisici di oggetti 3D, ma implica inoltre un processo di descrizione e rappresentazione alla base della simulazione delle prestazioni di un edificio e della gestione delle stesse informazioni. *Building Information Modeling* rappresenta dunque per Laiserin la più efficace descrizione per la prossima generazione di software di progettazione<sup>5</sup> (Autodesk iniziò ad utilizzare lo stesso termine per

---

3 Phillip G. Bernstein è architetto e docente presso la Yale School of Architecture; nel 2002, in qualità di vice presidente di Autodesk per le relazioni strategiche con l'industria, ha sostenuto l'acquisizione del software Revit sviluppato da una start-up, dando di fatto un forte impulso alla transizione dalla metodologia CAD al BIM nel mondo delle costruzioni grazie alla forte diffusione dei software Autodesk.

4 Jerry Laiserin è un'analista di settore, con formazione in architettura (Princeton University) e management (New York University); i suoi scritti e le sue attività si focalizzano principalmente sulle strategie tecnologiche e sui flussi di lavoro applicati al settore delle costruzioni e del progetto di architettura.

5 Laiserin 2002: "*I find that I prefer the word "building" over "project" because there are many kinds of projects (such as software development) that have nothing to do buildings. At the same time, the word "building" is loose enough to hint at design, construction and operation. Without delving into the semantics of data versus information versus knowledge, I find that "information" is clearly suggestive of software that deals with more than just geometry. Combined, "building information" implies, to my ear, a strong sense of what the design, construction and operation of buildings is about. It avoids techno-jargon, yet remains evocative of technical goings-on. "Modeling," although a near-jargon word, does connote the mathematical or digital description of objects or systems we have econometric models and weather models as well as physical models of 3D objects. "Modeling" also implies a process of description or representation that provides the foundation for building performance simulation (essentially, modeling future behavior) and for the management of building information (information*

descrivere la strategia aziendale nell'industria delle costruzioni<sup>6</sup> giusto qualche mese prima rispetto al saggio di Laiserin).

A prescindere dal processo semantico sulla genesi e la diffusione del termine BIM, uno dei padri concettuali della metodologia *Model-based* è lo studioso Chuck Eastman<sup>7</sup> attraverso il *Building Description System* (BDS)<sup>8</sup>, un sistema di modellazione parametrica sviluppato presso il dipartimento di informatica della Carnegie-Mellon University e basato su di un database collegato direttamente al modello digitale generato; attraverso questo sistema introdusse la centralità del modello nel processo costruttivo e progettuale. Il modello digitale, grazie alle informazioni e agli elementi inseriti, poteva quindi essere interrogato e analizzato su basi quantitative. Eastman, in un saggio del 1975, descrive questo processo *Model-based* in cui sezioni, piante, isometrie e prospettive sono elaborati grafici generati direttamente a partire dal modello digitale e presentano il medesimo patrimonio informativo (essendo generate dallo stesso modello); le eventuali successive modifiche apportate al modello saranno automaticamente incorporate e i relativi elaborati grafici aggiornati; le analisi quantitative potranno essere correlate direttamente con le relative descrizioni; le stime dei costi e delle quantità dei materiali da impiegare potranno essere desunte direttamente dalle informazioni contenute nel modello. Concetti che rappresentano di fatto la genesi dei sistemi BIM oggi conosciuti.

Questa nuova rappresentazione digitale dell'edificio venne comunemente definita, fin dai primi anni '80 negli USA, *Building Product Model* (*Product Information Model* in Europa), un modello digitale strutturato, oltre che dagli aspetti geometrici, da una serie di informazioni correlate agli oggetti che compongono l'intero edificio, tali da definire il comportamento stesso dell'edificio e le relazioni tra le varie parti costituenti il modello stesso. Da notare come in entrambe le denominazioni ci si rifaccia ad un prodotto, il modello digitale, e non ancora ad un processo, metodologico e organizzativo.

Il primo documento ad utilizzare il termine *Building Modeling*, secondo l'accezione che diamo oggi al BIM, è un articolo del 1986 di Robert Aish, a quei tempi

---

*models serving as the frameworks in which information is managed*".

<sup>6</sup> Si veda il white paper *Autodesk building industry solutions*, Autodesk Inc. 2002.

<sup>7</sup> Chuck Eastman è professore presso il Georgia Institute of Technology e direttore del Georgia Tech Digital Building Lab (DBL), specializzato in *Building Information Modeling* e in modellazione solida e parametrica. Negli anni '70 seguì il programma di dottorato presso la Carnegie Mellon University dove sviluppò il BDS e il *Building Product Model*.

<sup>8</sup> Eastman 1974 e 1975.

impegnato nella GMW Computers<sup>9</sup> (più tardi in Bentley e Autodesk), in cui l'autore faceva riferimento al software utilizzato per il progetto del Terminal 3 dell'Aeroporto di Heathrow a Londra, RUCAPS<sup>10</sup>.

RUCAPS si basava su di un modello digitale e sul concetto della rappresentazione dimensionale dei componenti in 2½ (già sviluppata attraverso il *Building Description System* negli anni '70), una via di mezzo tra le due dimensioni del 2D e le tre dimensioni del 3D: ogni elemento era posizionato nello spazio secondo tre dimensioni, ma la modellazione avveniva unicamente mediante una sequenza di viste bidimensionali (pianta e prospetti).

A partire dal 1987 Graphisoft<sup>11</sup> introdusse e diffuse il concetto del modello quale elemento centrale costituito da oggetti parametrici nel *Virtual Building* con il lancio del software Archicad.

Van Nederveen e Tolman, due ricercatori dell'Università di Delft, in un articolo pubblicato nel 1992 sui modelli digitali delle costruzioni e sulle informazioni in essi contenute, utilizzano il termine che tiene insieme la costruzione con il modello informativo: *building information models*<sup>12</sup>.

Alla fine degli anni '90, negli studi di Christiansson<sup>13</sup>, si introduce il processo collaborativo, reso possibile dalla diffusione ed evoluzione delle tecnologie dell'informazione, come modello di interrelazione e manipolazione del *Virtual Building* (edificio virtuale) e dei modelli ad esso correlati, attraverso gli input dati dagli utenti coinvolti nella progettazione e nell'utilizzo.

---

9 GMW Computers Ltd è una società che a partire del 1977 commercializzò il software RUCAPS, utilizzato per lo sviluppo del progetto dell'Università di Riyadh; la società nacque nel 1947 come studio di architettura Gollins Melvin Ward GMW Architects.

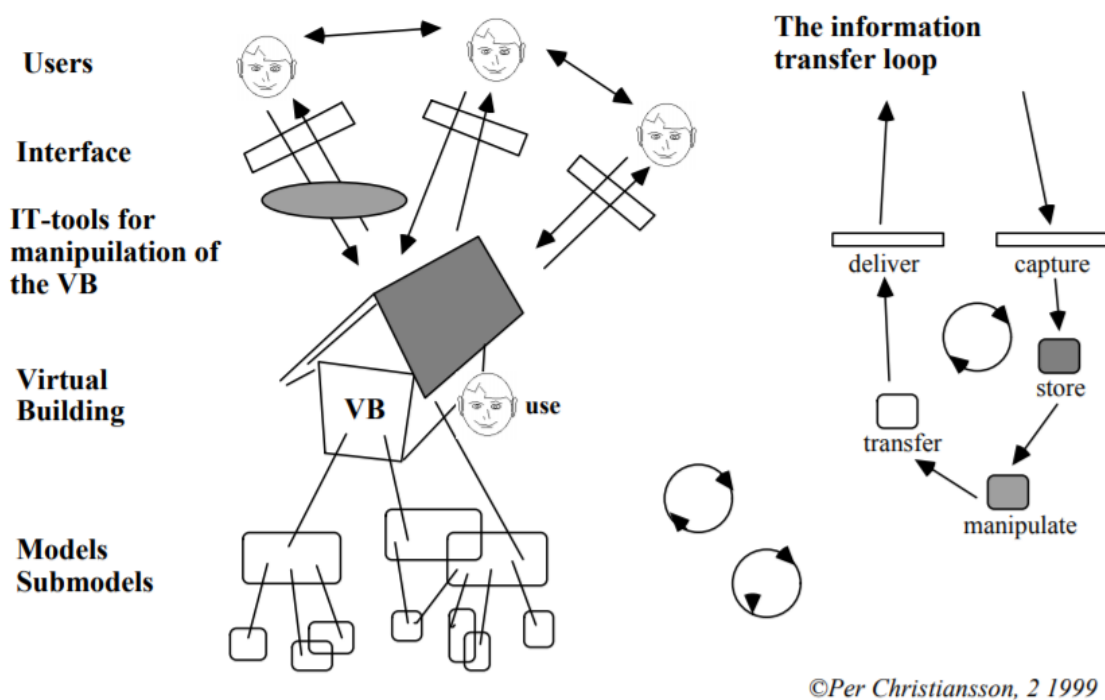
10 RUCAPS (*Riyadh University Computer Aided Production System*) fu un software CAD sviluppato tra gli anni '70 e '80 e riconosciuto come un precursore dei sistemi BIM che oggi conosciamo. Il software fu sviluppato da John Davison e John Watts, che trovarono poi possibilità di applicarlo presso lo studio degli architetti Gollins Melvin Ward (GMW Architects) a Londra nel progetto per l'Università di Riyadh. Successivamente la denominazione mutò in *Really Universal Computer Aided Production System* e commercializzato a partire dal 1977 da GMW Computers in molti paesi del mondo.

11 Graphisoft è una società di software nata in Ungheria nel 1982; dal 1984 ha lanciato il software Archicad che dal 1987 è stato arricchito dal concetto di Virtual Building (nel 2003 viene considerato un sistema BIM – Building Information Modeling). Nel 2007 Graphisoft è stata acquistata da Nemetschek AG, società tedesca già proprietaria dei software BIM Allplan e Vectorworks.

12 Van Nederveen e Tolman 1992.

13 Per Christiansson, già professore di IT alla facoltà di ingegneria civile presso l'università di Aalborg in Danimarca.





©Per Christiansson, 2 1999

Illustrazione 2: L'edificio virtuale secondo Christiansson: modello e sub-modelli accessibili e modificabili attraverso interfacce multimediali in un processo collaborativo (fonte Christiansson, 1999).

In precedenza, nel 1993, lo studioso svedese definisce il *Virtual Building* come la descrizione digitale di un edificio esistente o progettato che può essere utilizzata per simulare e comunicare il comportamento dell'edificio reale nelle diverse situazioni previste<sup>14</sup>. Nel 1999 l'autore analizza il ruolo assunto dalle tecnologie dell'informazione nella generazione e nell'interazione con il *Virtual Building*; le tecnologie IT possono infatti consentire di progettare, costruire e manipolare l'edificio virtuale, ma allo stesso tempo possono permettere di interagire con il modello costruito digitalmente; permettono inoltre di simulare il comportamento dell'edificio reale, attraverso il suo modello, durante la costruzione, l'uso e la demolizione finale, consentendo di controllare le prestazioni e i requisiti per mezzo di un edificio virtuale e supportando l'intero processo costruttivo, dall'ideazione alla demolizione. L'autore introduce quindi il concetto di simulazione del ciclo di vita dell'edificio reale attraverso un modello digitale interattivo e manipolabile.

Possiamo dunque individuare il passaggio da *Information Model*, quale modello

<sup>14</sup> Christiansson 1993: Virtual Building as "a formalized digital description of an existing or planned building which can be used to fully simulate and communicate the behavior of the real building in its expected contexts".

tridimensionale inteso come prodotto del metodo BIM, a *Information Modelling*, in cui la condivisione delle informazioni attraverso un metodo collaborativo tra tutti i soggetti coinvolti nel processo BIM assume un ruolo centrale nell'intero processo del settore AEC (*architecture, engineering e construction*). Questo processo evoluto trova efficacia attraverso un assetto organizzativo e gestionale di sistema, il cosiddetto *Building Information Management*.

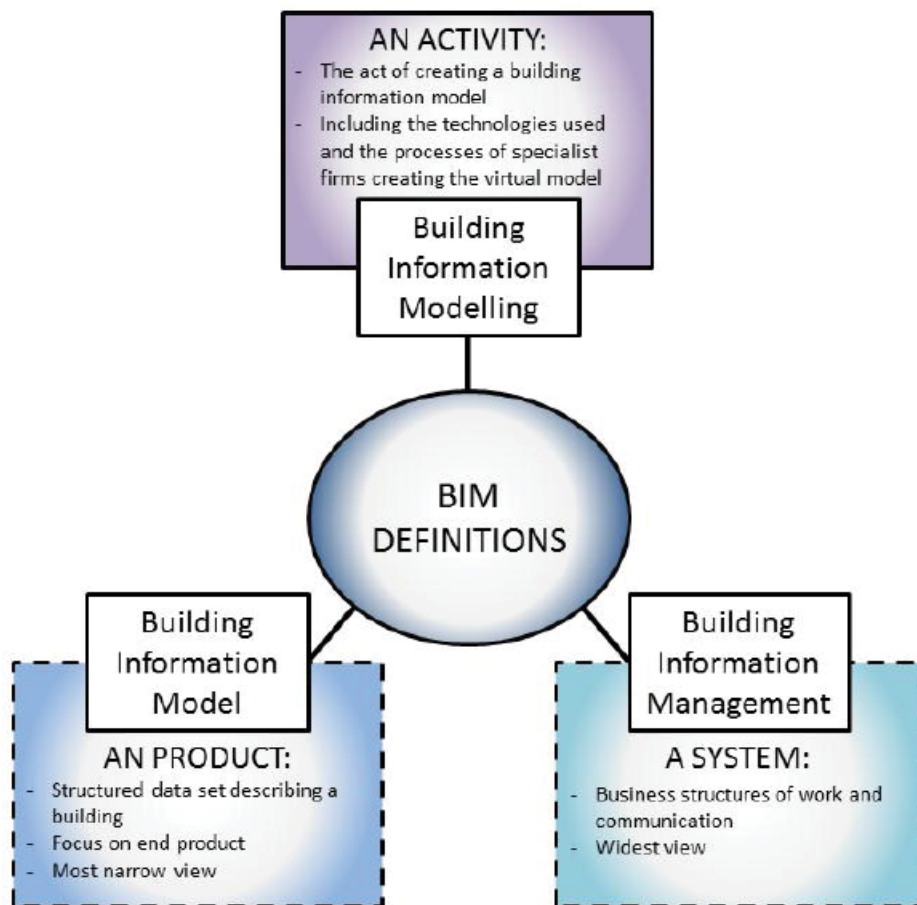


Illustrazione 3: *Differenti declinazioni per definire il BIM: prodotto, processo e sistema (fonte Maunula, 2008)*

## 1.2 Il *Building Information Modelling* come processo

Il *Building Information Modelling* consente di superare la concezione che vede quale fine la realizzazione di un prodotto (modello tridimensionale quale rappresentazione digitale fisica e funzionale), ma altresì mira a delineare un processo, attraverso un nuovo approccio al design, alla costruzione e alla futura gestione e manutenzione dell'edificio. Nel *Building Information Modelling* è intuibile come “[...] dalla rappresentazione tridimensionale delle geometrie si giunga alla visualizzazione dei concetti (alfanumerici) e come solo dall’adesione piena dell’intera catena di fornitura alla trasparenza e alla leggibilità delle transazioni informative si possa ottenere l’*industry of the built environment*” (Ciribini 2016).

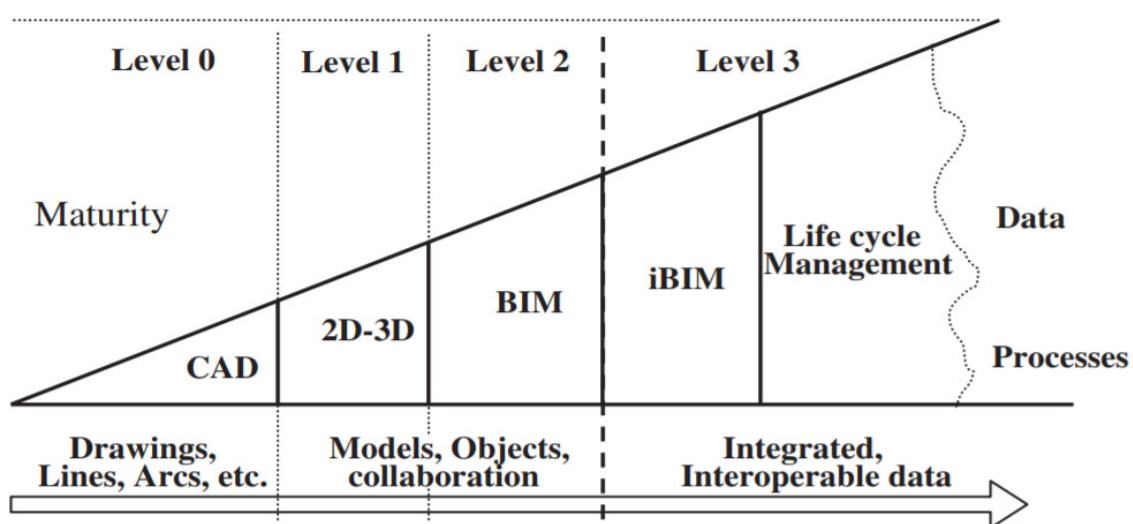


Illustrazione 4: I livelli di maturità del BIM

Il governo britannico, attraverso le norme PAS 1192 del 2013, ha definito quattro livelli di maturità del processo di progettazione e di costruzione che portano ad un'adozione completa di procedure e metodi BIM, attraverso un indice che dal livello 0 raggiunge il più alto livello 3.

Il livello 0 è identificabile con il processo caratterizzato dall'utilizzo prevalente di disegni cartacei, generati tramite sistemi tradizionali CAD bidimensionali, e documenti di testo per lo scambio di informazioni.

Il livello 1 affianca al disegno 2D il modello tridimensionale, quale strumento preferenziale per un primo coordinamento spaziale e per la visualizzazione del

progetto, senza tuttavia adottare una condivisione tra i diversi attori coinvolti nel processo (le British Standard BS 1192:2007<sup>15</sup> tentarono di standardizzare la classificazione dei file e la loro denominazione e di indicare un approccio collaborativo tra i vari operatori del settore).

Il livello 2 introduce una modellazione BIM per ogni disciplina e, attraverso un processo di collaborazione e condivisione, consente lo scambio di informazioni tra i diversi soggetti coinvolti nella progettazione. Viene individuato un formato di file comune, così da poter combinare tutti i modelli prodotti in un modello BIM federato. Iniziano ad essere incluse informazioni sulle fasi costruttive (4D) e sui costi (5D).

Il livello 3 è caratterizzato da un processo BIM integrato, in cui il modello e i dati sono condivisi in tempo reale tramite servizi web integrati (BIM hub) e gestiti in modo collaborativo conforme agli standard IFC/IFD<sup>16</sup> (openBIM<sup>17</sup>). Le informazioni fanno riferimento inoltre all'intero ciclo di vita dell'edificio, comprendendo la sua gestione e la successiva manutenzione (6D).

Il livello più avanzato presuppone di fatto un approccio sistemico ai processi di progettazione e costruzione, perseguibile attraverso normative di settore. Il Regno Unito ha raggiunto il livello 2 nel 2016 grazie alla "Strategia Nazionale delle Costruzioni" adottata nel 2011, che ha introdotto il requisito di utilizzare la modellazione BIM per la progettazione e la costruzione di opere e di infrastrutture finanziate dal governo centrale a partire dall'aprile del 2016. L'obiettivo per il 2020, contenuto nel documento governativo del 2015 "*Digital Built Britain – Level 3 Building Information Modelling – Strategic Plan*", è quello di raggiungere il livello 3 per l'intero ciclo di vita delle opere pubbliche, perseguire un uso diffuso del BIM della progettazione e nella costruzione di edifici privati e adottare tutte le potenzialità offerte dal BIM nella fase di gestione e manutenzione degli edifici (*Building Lifecycle Management*).

Un efficace approccio *Model oriented* al progetto, vede dunque necessariamente il coinvolgimento di tutti gli attori coinvolti nella filiera; in primis una committenza "evoluita", in grado quindi di gestire l'intero processo attraverso obiettivi e requisiti

---

15 "*Collaborative production of architectural, engineering and construction information. Code of practice*"

16 IFC è l'acronimo di *Industry Foundation Classes* ed è un formato di interscambio di informazioni; IFD è l'acronimo di *International Framework for Dictionaries* ed è un dizionario internazionale volto a definire univocamente termini, prodotti e processi legati al mondo delle costruzioni.

17 BuildingSMART definisce openBIM: "*a universal approach to the collaborative design, realization and operation of buildings based on open standards and workflows*".

chiari e definiti, capace di delineare un quadro di riferimento condiviso per la progettazione, per l'esecuzione, per la costruzione e per il successivo mantenimento dell'opera.

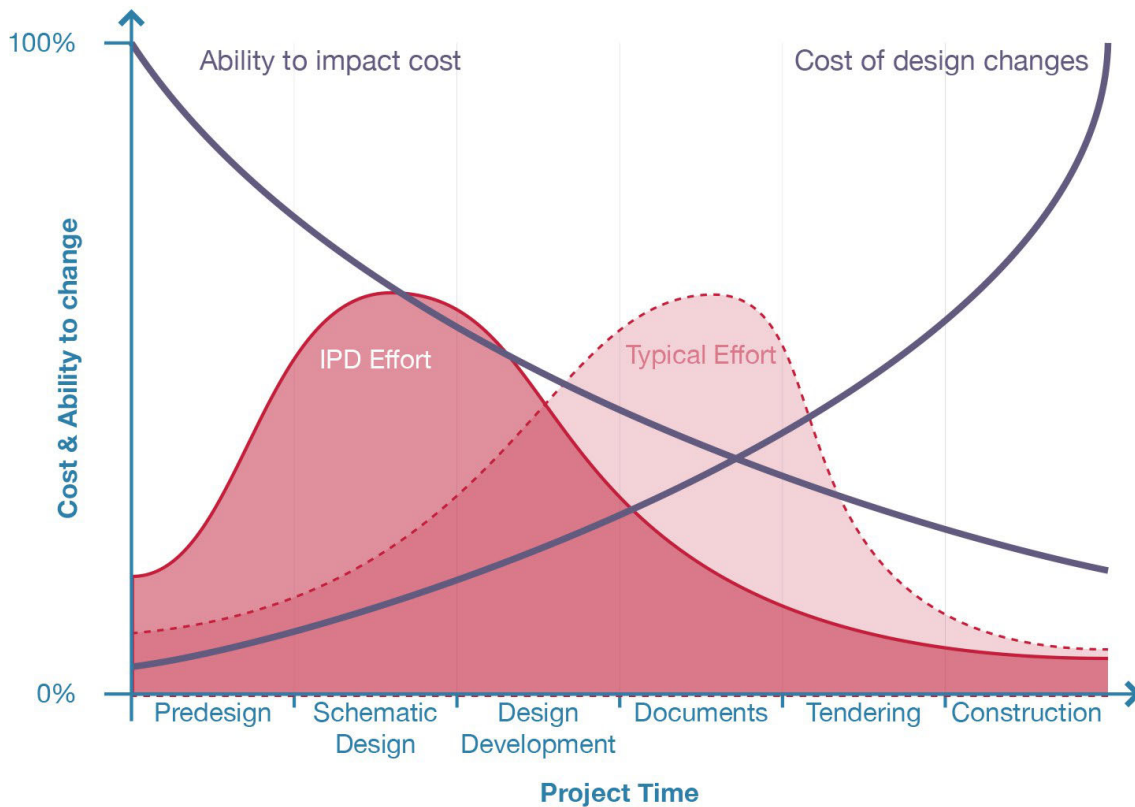


Illustrazione 5: Il diagramma di MacLeamy: confronto tra un approccio tradizionale al progetto e l'approccio integrato presente nel processo BIM

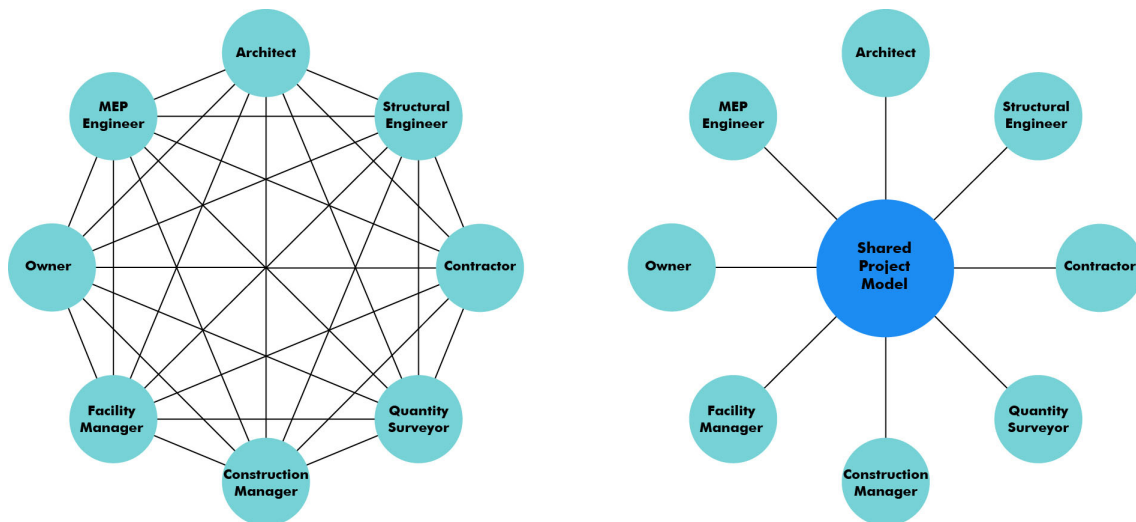
Il diagramma ideato da Patrick MacLeamy<sup>18</sup>, presentato nel 2005 durante la conferenza AIA (*American Institute of Architects*), pone in relazione un approccio di tipo integrato al progetto con un approccio più tradizionale, e di fatto illustra i vantaggi forniti dal processo di tipo integrato, in cui gli sforzi si concentrano maggiormente nelle fasi iniziali della progetto. Di fatto, le attività di coordinamento e armonizzazione tra diverse discipline e soggetti coinvolti nel processo attraverso un approccio di tipo integrato (quale è il *Building Information Modelling*) vengono anticipate fin alle prime fasi progettuali; lo sforzo, secondo MacLeamy, non è dunque minore ma, essendo anticipato, consente una considerevole riduzione dei

<sup>18</sup> Architetto americano, già presidente e CEO di HOK, uno tra i maggiori studi mondiali di architettura, ingegneria e pianificazione, dotato di uno staff di oltre 1.700 professionisti presenti in 24 sedi in diverse città del mondo.

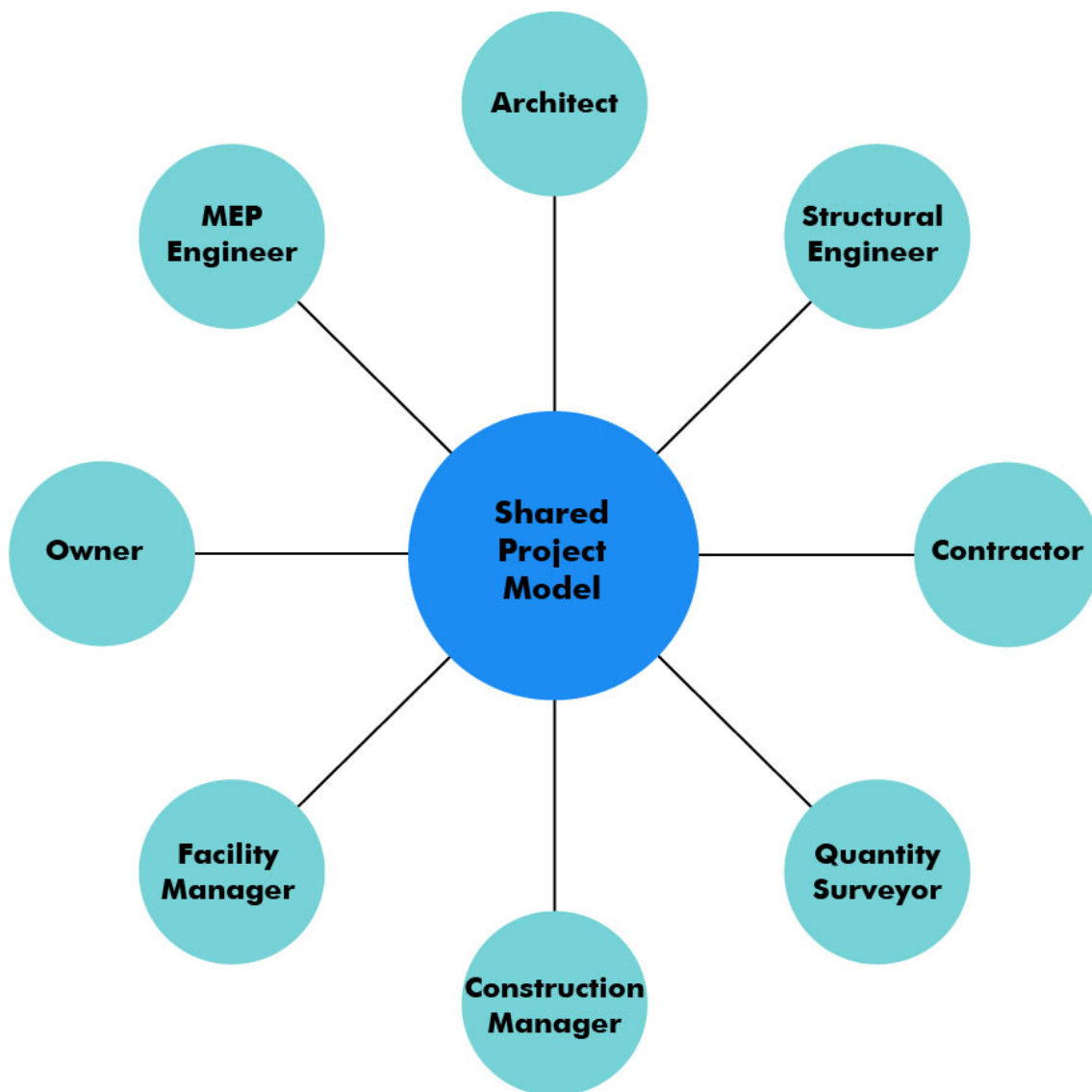
costi rispetto ad un approccio di tipo tradizionale, in cui il perfezionamento del progetto avviene in una fase piuttosto avanzata. Nell'approccio di tipo tradizionale si riduce di fatto il tempo per le attività di coordinamento, aumentando la possibilità di dover ricorrere a varianti e ripetute modifiche progettuali per armonizzare le diverse discipline (architettura, struttura, impianti, etc.).

Nella metodologia BIM cambia dunque l'approccio al progetto, attraverso processi di tipo collaborativo e attraverso la condivisione dell'edificio virtuale tra tutti gli attori coinvolti sin dalle prime fasi ideative. In questo approccio integrato il coordinamento e le integrazioni tra discipline vengono quindi anticipate fin alle prime fasi progettuali, riducendone l'incidenza nelle fasi successive.

L'approccio sotteso al BIM si configura necessariamente come un processo di tipo collaborativo, in quanto tutti i soggetti coinvolti nell'opera (dal committente ai progettisti, dal costruttore ai subappaltatori, dai fornitori al gestore) sono chiamati ad interagire in modo proficuo e incrementale con il modello informativo; il modello rappresenta di fatto il nodo centrale verso cui confluiscono dati, forme, requisiti e aspettative che man mano definiscono il progetto, in un flusso informativo costante che, a partire dal processo ideativo, si sviluppa durante l'intera fase progettuale e prosegue durante la costruzione.



*Illustrazione 6: Relazioni processuali tra i soggetti coinvolti: l'approccio tradizionale e l'approccio integrato BIM basato sul modello condiviso (fonte Nonveiller 2018)*



*Illustrazione 7: Il processo collaborativo basato sul modello virtuale dell'edificio sotteso al Building Information Modelling (fonte Nonveiller 2018)*

Nel processo metodologico collaborativo alla base del *Building Information Modelling* appare imprescindibile e fondamentale l'adozione di un sistema di gestione in grado di condurre l'intero processo, il cosiddetto *Building Information Management*.





## **2. Il flusso processuale impiegato nel *Building Information Modelling*: da prodotto a processo**

Il flusso processuale impiegato nel *Building Information Modelling* rappresenta oggi il metodo preferenziale per la gestione di un progetto complesso, grazie al coinvolgimento di tutti gli attori coinvolti (committente, progettisti, costruttore, subappaltatori, fornitori, manutentori ed infine fruitori dell'intervento realizzato), grazie alla gestione di una pluralità di dati afferenti alle varie discipline coinvolte (architettura, struttura, impianti elettrici, impianti meccanici, etc.), che consente un coordinamento ottimale tra ambiti differenti, e, non ultimo, grazie ad un costante controllo delle quantità durante tutto il processo che consente di perseguire un monitoraggio istantaneo e una progressiva ottimizzazione dei costi sull'intero ciclo progettuale e costruttivo.

“Il BIM che era identificato inizialmente come un ‘oggetto 3D’ o come un software di modellizzazione è oggi identificato con un processo performante in grado di ottimizzare i costi, aumentare la qualità del progetto, di gestire i dati degli edifici di nuova costruzione e dell’esistente” (Ciribini 2016).

L'approccio *BIM-oriented* pone al centro del dibattito la gestione dei flussi informativi all'interno della procedura di costruzione dell'edificio, in tutte le diverse fasi afferenti al progetto; a partire quindi dall'iniziale processo ideativo, a cura del promotore, del committente, della stazione appaltante o degli stessi progettisti, per proseguire con il coordinamento avanzato tra discipline e ambiti che caratterizzano l'intervento, durante i vari livelli di progettazione richiesti. Tale fase è probabilmente la più onerosa di tutto l'intero processo, sia in termini di tempo sia in termini di risorse e professionalità impiegate, ma è altresì il momento che probabilmente genera i maggiori benefici in termini di armonizzazione tra diverse discipline, di ottimizzazione delle interferenze e di risoluzione dei conflitti. Rispetto al diagramma di MacLeamy<sup>19</sup>, illustrato nel paragrafo precedente, è proprio nelle fasi iniziali del processo di tipo

---

<sup>19</sup> MacLeamy nel 2005 presenta un diagramma cartesiano in cui propone un raffronto tra due curve: una esemplificativa di un approccio di tipo tradizionale al progetto, in cui gli sforzi sono distribuiti durante l'intero arco temporale, con un picco a valle dello sviluppo progettuale, momento in cui soventemente si ricorre a varianti e ripetute modifiche per integrare le differenti discipline, con aggravio di tempi e costi in una fase già avanzata del processo; l'altra curva esemplifica un approccio di tipo integrato, in cui gli sforzi si concentrano in misura maggiore nelle fasi iniziali del progetto, dove il coordinamento e l'integrazione tra discipline consentono di ridurre le possibilità di dover ricorrere a varianti e modifiche durante l'iter progettuale, con evidenti benefici per le tempistiche di approvazione, di ingegnerizzazione e di successiva costruzione, e per consentire un controllo costante sulle quantità e sui costi in ogni momento.

integrato che si concentrano maggiormente gli sforzi; ciò consente di valutare, fin dalle prime fasi progettuali, le possibili criticità e le possibili incoerenze generate da una mancata integrazione tra discipline. Questo riporta alla centralità del dato informativo, e della sua condivisione, all'interno dell'intero processo collaborativo (il *Shared Project Model* posto al centro del processo del *Building Information Modelling*<sup>20</sup>). Dal modello 3D, architettonico, strutturale e impiantistico, si passa alla gestione temporale della programmazione esecutiva e alle fasi costruttive del 4D, alla gestione informativa economica e alla valutazione dei costi del 5D, alla gestione operativa dell'edificio e al *facility management* del 6D, per finire con le analisi prestazionali dei consumi energetici e alla sostenibilità sociale, economica e ambientale del 7D.

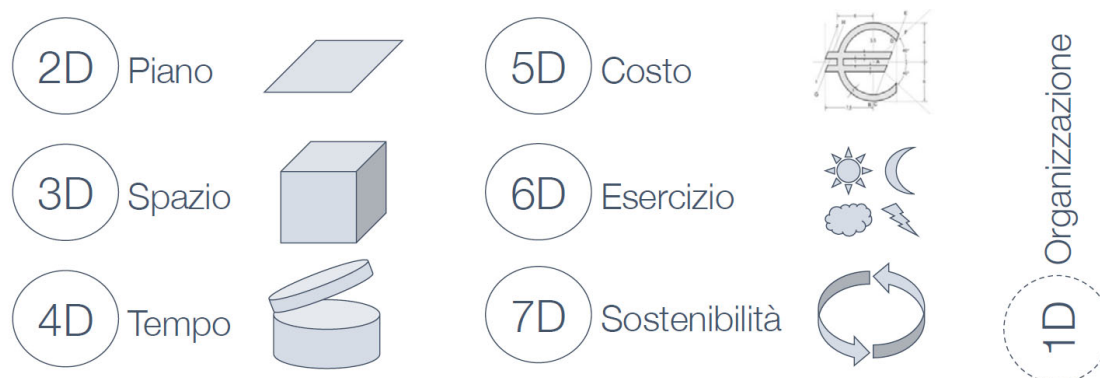
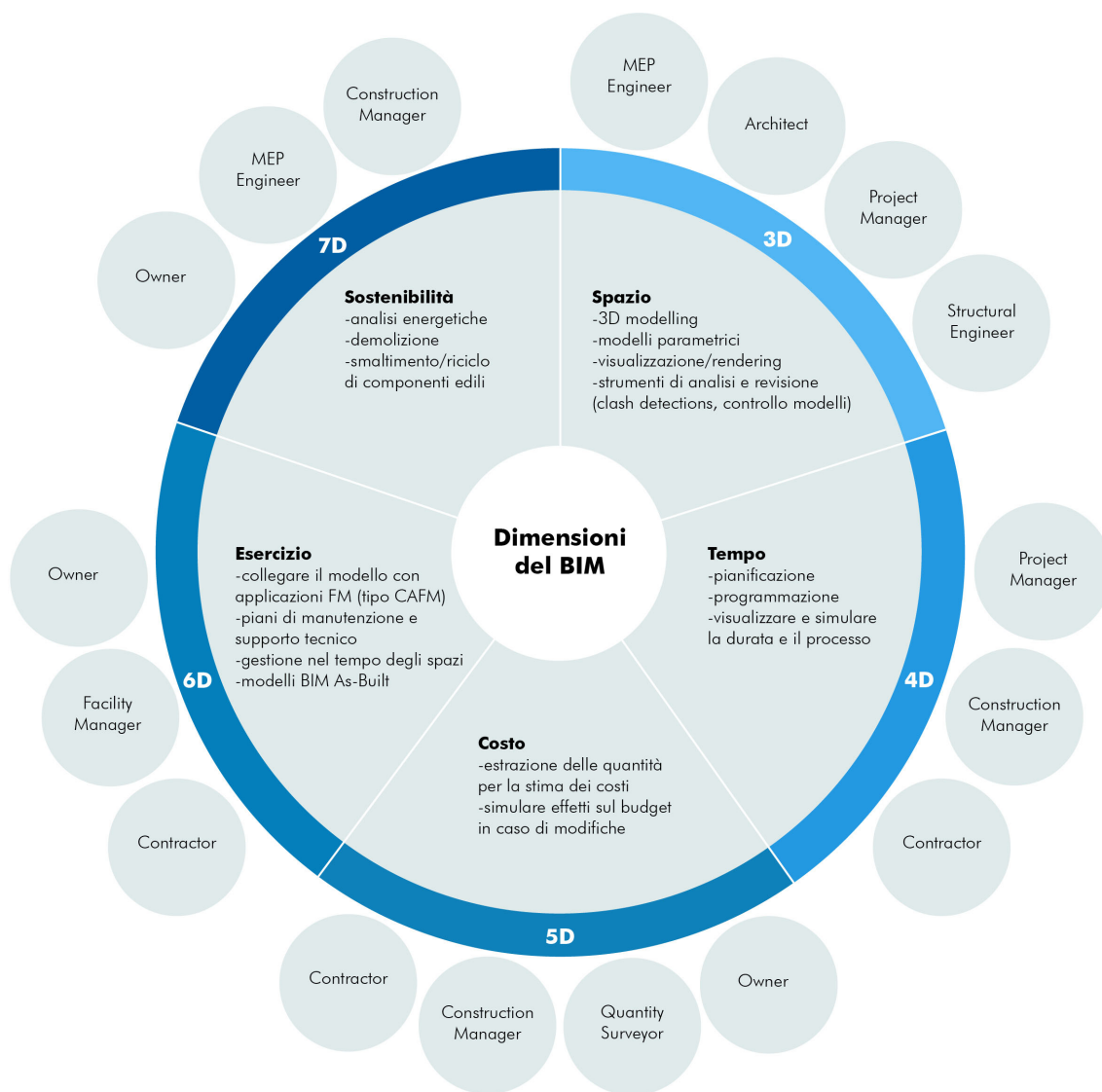


Illustrazione 8: Le dimensioni digitali del BIM secondo le UNI 11337:2017 (fonte Pavan)

Potremmo esemplificare il processo individuando nel modello 3D la definizione degli aspetti geometrici, funzionali, materici, strutturali e impiantistici, nonché il coordinamento e l'armonizzazione tra le diverse discipline in fase progettuale; il modello 4D appare così prodromico alla costruzione e alla produzione, consentendo una migliore pianificazione dei tempi, un'ottimizzazione delle attività costruttive, un'efficace gestione delle attività di coordinamento e di risoluzione delle interferenze; il modello 5D quale strumento di analisi e verifica dei costi nel tempo, grazie alla stima della spesa iniziale, ma soprattutto alla valutazione di possibili scenari ed eventuali modifiche quantitative, nonché strumento di controllo per le eventuali varianti occorse in fase di esecuzione; il modello 6D quale base

<sup>20</sup> Si rimanda al capitolo precedente e in particolare al diagramma del processo collaborativo, in cui si è rappresentato il modello virtuale dell'edificio come elemento centrale e condiviso tra tutti i soggetti coinvolti.

informativa necessaria per la gestione dell'opera e la manutenzione durante l'intero ciclo di vita dell'intervento; il modello 7D quale base per la gestione delle externalità<sup>21</sup> e di analisi delle prestazioni.



*Illustrazione 9: Diagramma ciclico inerente le dimensioni digitali del BIM, come da norme UNI 11337:2017, e le figure principali coinvolte nei diversi momenti del processo integrato (fonte Nonveiller 2019)*

L'intento del diagramma qui illustrato è quello di sistematizzare e mettere in relazione visiva le diverse dimensioni del BIM, così come definite dalle norme UNI 11337: 2017 dalla dimensione spaziale del 3D a quella dell'intero ciclo di vita del 7D, con

<sup>21</sup> Vedi definizione norme UNI 11337: 2017.

le figure principali coinvolte durante l'intero processo ciclico e integrato.

La dimensione spaziale vista dunque come la modellazione tridimensionale e parametrica di tutti gli elementi afferenti alle varie discipline che compongono l'intervento, dagli aspetti strutturali a quelli impiantistici, dalle finiture architettoniche agli aspetti specialistici quali facciate, *equipments* e tutti gli elementi accessori oggetto di forniture esterne; in tale dimensione sono fondamentali gli aspetti di coordinamento, di analisi e di revisione, attuabili sia attraverso una costante verifica di coerenza tra discipline e ambiti, sia attraverso le procedure di *clash detection* con il fine di evidenziare eventuali interferenze e, tramite una chiara matrice di responsabilità, apportarvi le più idonee misure correttive. Appare evidente come tale processo possa essere attuato in modo efficace e tempestivo nella misura in cui gli studi professionali, le società di ingegneria e gli stessi fornitori, siano in grado di attuare importanti processi organizzativi interni, dotandosi di figure adeguate a gestire tali processi integrati.

La dimensione temporale afferisce prettamente alla pianificazione e alla programmazione dell'intervento ma, all'interno del processo integrato alla base del *Building Information Modelling*, consente di visualizzare e simulare la durata dell'intero processo grazie alla definizione delle fasi di intervento in modo via via più definito; ciò consente di anticipare le possibili interferenze costruttive od operative e apportarvi le idonee misure correttive, in un approccio sinergico e biunivoco sia con la modellazione spaziale sia con gli aspetti economici legati a costi e quantità.

La dimensione economica è strettamente correlata con le verifiche quantitative e con le possibili variabili date da soluzioni tecniche differenti o alternative. L'approccio integrato consente quindi un controllo costante delle quantità; queste vengono estratte direttamente dal modello virtuale dell'intervento e consentono di divenire un importante strumento, ad uso del progettista, del committente o del costruttore, per valutare o monitorare eventuali varianti o modifiche da apportare direttamente in fase progettuale, anticipando di fatto alle fasi iniziali del processo una serie di procedure di valutazione e ottimizzazione dell'opera.

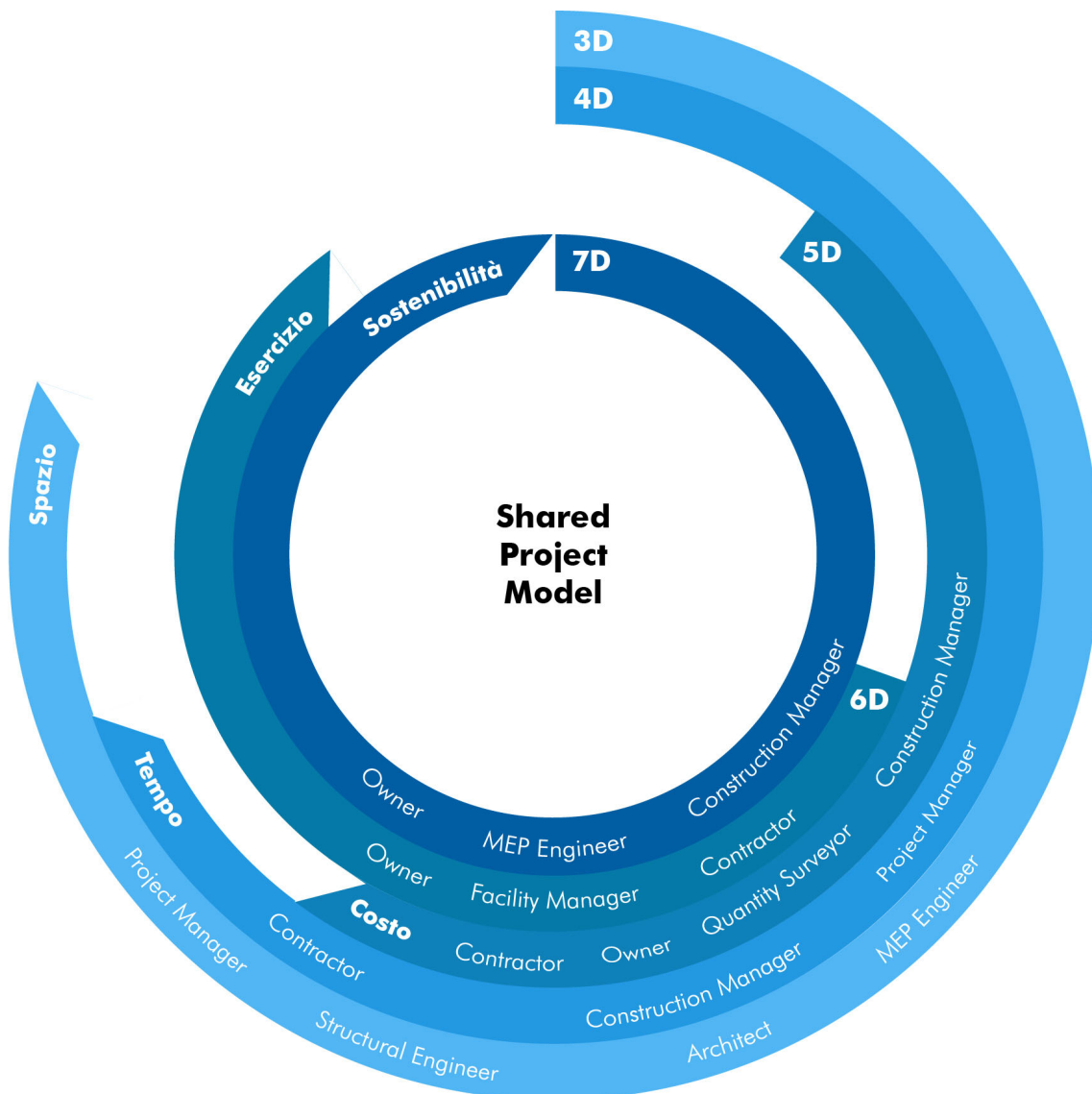
La sesta dimensione afferisce all'esercizio e alle procedure di manutenzione e di gestione a cui l'intervento dovrà essere soggetto durante l'intero ciclo di vita. I dati contenuti nel modello BIM, permettono di integrare le informazioni necessarie per la pianificazione dei processi legati ai piani di manutenzione e alle procedure ordinarie legate al supporto tecnico operativo. Il modello può essere collegato con applicazioni di *facility management* di tipo CAFM o CMMS<sup>22</sup>, integrando dunque le

---

22 CAFM è l'acronimo di *Computer Aided Facility Management* e CMMS di *Computerised Maintenance Management*; si tratta di soluzioni applicative che integrano sistemi informativi e

informazioni necessarie alla gestione e al monitoraggio durante tutta la fase di esercizio.

La dimensione della sostenibilità accompagna il modello di dati condiviso durante l'intero ciclo di vita dell'opera, divenendo importante strumento di analisi delle prestazioni e verifica energetica sin dalle fasi iniziali del processo integrato e definendo infine lo smaltimento o il possibile riciclo dei componenti edili.



*Illustrazione 10: Il processo del Building Information Modelling rappresentato come un sistema ciclico e integrato, la cui centralità è assunta dal modello condiviso (fonte Nonveiller 2019)*

consentono di ottimizzare i processi e le procedure da attuare nell'ambito del *facility management*, in particolare nella gestione di edifici, impianti tecnici, reti di distribuzione, impianti speciali, etc.

Tuttavia il processo sotteso al *Building Information Modelling* non dovrebbe essere necessariamente inteso in termini cronologici e in logiche meramente consequenziali, così come esemplificato nel diagramma cartesiano di MacLeamy, dove i tempi del progetto sono ottimisticamente sviluppati in forma lineare e cadenzati secondo fasi successive di sviluppo; il processo del BIM potrebbe piuttosto essere interpretato come un sistema ciclico e correlato, dove la centralità è assunta dal dato informativo del modello condiviso e le varie dimensioni – dal 3D al 7D - non rappresenterebbero altro che differenti momenti che ciclicamente si pongono in relazione reciproca, vengono quindi a interrelazionarsi tra loro rendendo il dato condiviso (il modello) sempre più strutturato e popolato di informazioni.

Nel diagramma precedente è schematizzato tale concetto, secondo cui le varie dimensioni del BIM, da quella spaziale, prettamente legata allo sviluppo del progetto e al coordinamento di tutte le discipline nelle diverse fasi, a quella temporale, legata alla pianificazione e alla programmazione, a quella dei costi, legata alle quantità e alle loro possibili variazioni durante il processo, a quella di esercizio, correlata alla manutenzione e al facility management, per giungere a quella della sostenibilità, in cui si persegue il *life cycle assessment* sull'intero ciclo di vita dell'intervento, dalle strategie ambientali e dalle analisi energetiche in fase ideativa alle procedure di smaltimento e riciclo in fase finale, non fanno altro che susseguirsi e riproporsi ciclicamente.

Come già detto, in questo processo ciclico la centralità è assunta dal dato informativo condiviso, grazie al quale tutti i soggetti portatori di interesse nelle procedure di realizzazione di un intervento, dai progettisti al committente, dal costruttore all'investitore, dai fornitori al manutentore, hanno la possibilità di interagire con il modello informativo, a partire dalla semplice visualizzazione fino ad analisi più complesse. Interazione con il dato che non si limita a mera consultazione e interrogazione, ma dovrebbe evolversi in continui aggiornamenti e specificazioni successive, tanto da portare il modello condiviso virtuale a divenire la fedele componente virtuale dell'opera reale.

### 3. Strategie nazionali e diffusione del BIM: un quadro di sintesi



Illustrazione 11: L'evoluzione su scala globale dei regolamenti nazionali inerenti l'adozione del BIM (fonte web Geospatial World)

La **Gran Bretagna** è il paese in cui la diffusione dei processi BIM nelle discipline del progetto e delle costruzioni appare oggi più avanzata e strutturata. Come già anticipato, a partire dall'aprile del 2016 è stato introdotto il requisito di utilizzare la modellazione BIM "collaborativa" (il cosiddetto livello 2 introdotto con le norme PAS 1192 del 2013) per la realizzazione di progetti finanziati dal governo centrale; inoltre gli obiettivi definiti per il 2020 sono quelli di raggiungere il livello 3 per l'intero ciclo di vita delle opere pubbliche, perseguire un uso diffuso del BIM nella progettazione e nella costruzione di edifici privati e adottare tutte le potenzialità offerte dal BIM nella fase di gestione e manutenzione degli edifici (*Building Lifecycle Management*).

Secondo il *National BIM Report 2018*<sup>23</sup> ad oggi circa il 74% del campione significativo oggetto dell'indagine<sup>24</sup> ha adottato processi e metodologie BIM-based; la diffusione e la crescita è stata costante in tutti questi ultimi anni, soprattutto

23 Rapporto annuale rilasciato da NBS – *National Building Specifications*; NBS è di proprietà del RIBA (*Royal Institute of British Architects*).

24 All'indagine annuale hanno risposto 808 professionisti.

analizzando i dati dei rapporti precedenti: nel primo rapporto di NBS del 2011 la percentuale di adozione era di circa il 13% e, a partire dal requisito, introdotto nel 2016, di adottare il BIM per i progetti finanziati dal governo centrale, si nota una crescita di circa il 20% in questi ultimi due anni.

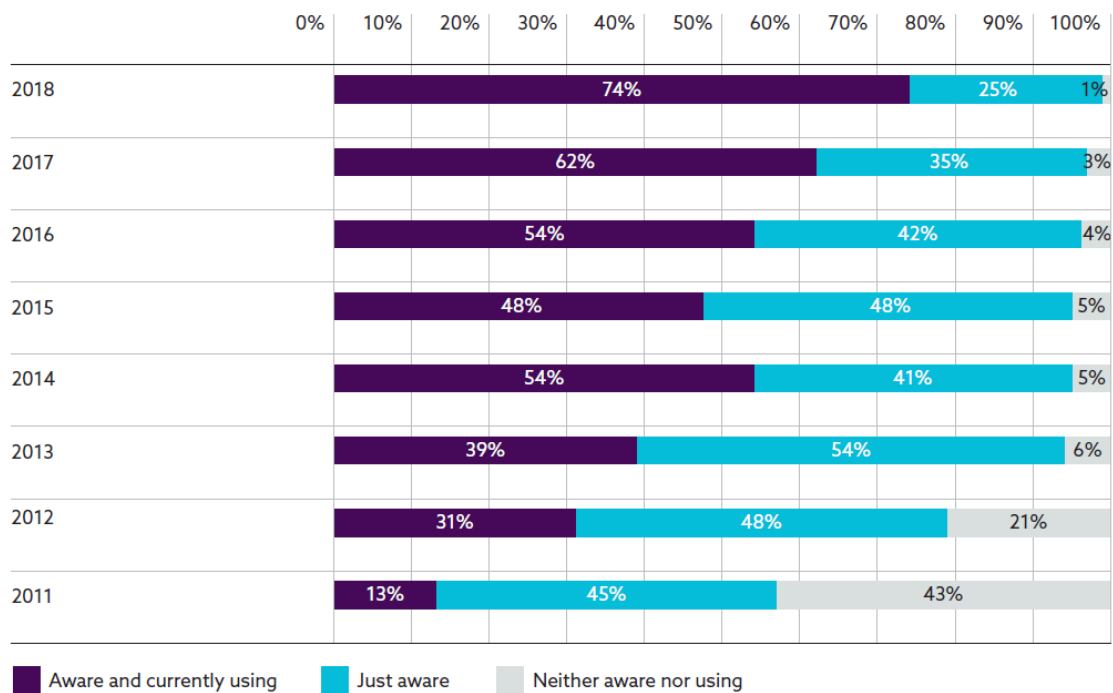


Illustrazione 12: Incremento dell'adozione del BIM in Gran Bretagna negli ultimi anni secondo il rapporto National BIM Report 2018 (fonte NBS 2018)

All'indagine annuale, effettuata nei primi quattro mesi del 2018, hanno partecipato 808 professionisti, equamente distribuiti tra strutture piccole (il 34% degli intervistati ha meno di 15 colleghi), strutture medie (il 18% degli intervistati ha tra i 16 e i 50 colleghi), strutture grandi (il 23% ha tra i 51 e i 500 colleghi) e strutture molto grandi (il 23% ha più di 501 colleghi). Il gruppo più consistente di intervistati erano architetti (31%), ma il campione significativo comprendeva molti altri professionisti, quali architetti tecnici, BIM manager, committenti, costruttori, ingegneri civili, ingegneri strutturisti, computisti e architetti del paesaggio.

Il rapporto dimostra inoltre come il BIM non sia stato adottato in Gran Bretagna unicamente da studi più strutturati e coinvolti in progetti infrastrutturali o in opere pubbliche di grande scala, la diffusione appare altresì capillare e alquanto uniforme; dichiarano infatti di aver adottato il BIM per lo sviluppo dei loro progetti il 66% degli



studi professionali di piccola dimensione (con uno staff composto da meno di 15 professionisti), l'80% degli studi di medie dimensioni (con uno staff compreso tra i 16 e i 50 professionisti) e il 78% degli studi di grandi dimensioni (con più di 51 professionisti).

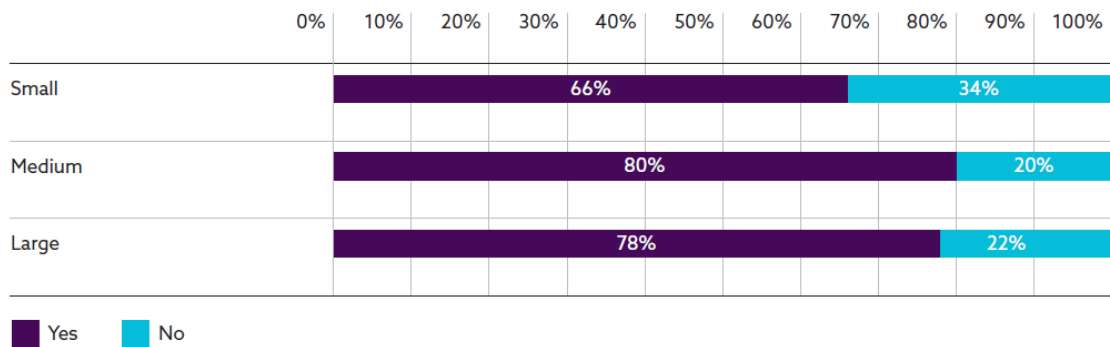


Illustrazione 13: Studi professionali, suddivisi per dimensione, che utilizzano il BIM per lo sviluppo dei progetti secondo il rapporto National BIM Report 2018 (fonte NBS 2018)

Gli **Stati Uniti** sono considerati uno tra i paesi precursori nell'adesione di un metodo BIM *model-based*; le prime ricerche risalgono infatti agli anni '70 ma, nonostante ciò, non vi sono ad oggi normative nazionali che obblighino all'utilizzo di metodi BIM nel settore delle costruzioni, se non requisiti e linee guida di carattere più generale.

Il GSA (*US General Services Administration*) ha formulato una serie di *BIM Guide*, tra cui il *National 3D-4D-BIM Program* già a partire dal 2003, con l'intento di diffondere la propria iniziativa sull'adozione del BIM alle altre agenzie federali. Il programma di GSA ha stabilito che, a partire dai progetti oggetto di finanziamento pubblico nel corso del 2007, il requisito minimo per ottenere le necessarie autorizzazioni sarà quello di fornire l'assetto e il programma spaziale dei progetti tramite modelli BIM. Ciò ha consentito a GSA di validare i progetti in modo efficiente e coerente, attraverso i requisiti stabiliti per ciascun edificio (*Program of Requirements – PORs*), durante la fase progettuale e durante la costruzione.

Successivamente, nel dicembre 2007, il *buildingSMART alliance*, un comitato costituito dal *National Institute of Building Sciences (NIBS)* con lo scopo di coordinare e diffondere gli standard BIM nel settore delle costruzioni, ha pubblicato un documento inerente un quadro d'insieme, i principi e le metodologie afferenti ai processi BIM applicati al settore delle costruzioni: "*United States - National BIM*

*Standard Version 1"* (meglio conosciute come NBIMS-US, oggi giunte alla *Version 3*).

Gli Stati Uniti non hanno adottato alcuna misura nazionale che obblighi all'uso del BIM, le NBIMS-US sono infatti delle linee guida elaborate con lo scopo di standardizzare il flusso di lavoro e i processi necessari per chi sceglie di operare attraverso il *Building Information Modelling*.

In **Cina** fin dal 2001 il ministero delle costruzioni propose, nel suo 12o piano quinquennale, l'utilizzo dell'Information Modelling nel settore delle costruzioni. Tuttavia l'utilizzo del BIM in Cina non è soggetto ad obbligatorietà e nel 13o piano quinquennale (2016-2020) il ministero pone l'obiettivo dell'utilizzo di applicazioni integrate BIM per il 2020. Hong Kong appare altresì come un'eccezione in questo quadro, molti dipartimenti governativi stanno infatti adottando gli standard britannici inerenti l'adozione del *level 2*.

Negli **Emirati Arabi Uniti**, la municipalità di Dubai ha emanato una circolare nel 2013 che imponeva l'uso del BIM per opere architettoniche e impiantistiche su determinati progetti; nel 2015 la circolare è stata rivista e ampliata indicando l'adozione del BIM per la progettazione e la costruzione di edifici superiori ai 20 piani di altezza, di edifici o strutture con dimensione pari o superiore a 200 mila metri quadrati, di strutture speciali quali ospedali e università, di edifici governativi. Tuttavia non sono stati ancora emanati degli standard codificati per l'uso del BIM, nonostante un'indagine condotta dall'Università Heriot-Watt di Edimburgo, su circa 500 professionisti coinvolti negli Emirati, riveli un valore di uso del BIM pari all'87% per almeno un progetto e pari al 62% per più di un progetto.

In **Qatar** il BIM non è obbligatorio e non sono stati ancora elaborati degli standard nazionali, tuttavia il settore delle costruzioni in questi ultimi anni ha rappresentato uno dei principali motori di sviluppo e di internazionalizzazione per il paese, nel quadro complessivo indicato dal piano di sviluppo Vision2030. L'adozione di processi BIM, e l'utilizzo degli standard britannici o americani, è richiesta dagli stessi committenti governativi per lo sviluppo della maggior parte dei progetti di infrastrutture e di grandi complessi attualmente in fase di costruzione; tra questi *Qatar Rail* per lo sviluppo delle infrastrutture afferenti al progetto QRIP, *Qatar Foundation* per lo sviluppo di progetti nel settore culturale attualmente in costruzione, *Msheireb Properties* coinvolto nella realizzazione del masterplan per l'area centrale di Doha, *Supreme Committee for Delivery & Legacy* per la costruzione degli stadi in vista della Coppa del Mondo di Calcio del 2022.

In **Europa** diversi paesi hanno adottato strategie nazionali e documenti di indirizzo che mirano al progressivo sviluppo della digitalizzazione nel settore delle costruzioni,

anche attraverso standard comuni riguardanti il BIM. La collaborazione transfrontaliera può rappresentare certamente un'interessante motore di sviluppo per un progressivo processo di standardizzazione di metodologie e processi inerenti il *Building Information Modelling*.

Nel 2014 è stata emanata la direttiva europea UE 2014/24 sugli appalti pubblici che invita gli stati membri ad "incoraggiare, specificare o imporre" l'uso del BIM nella costruzione di progetti finanziati da fondi pubblici europei a partire dal 2016.

Nel 2016 è stato inoltre istituito dall'Unione Europea un gruppo di lavoro per la diffusione dei processi BIM (*EU BIM Task Group*), attraverso la diffusione di buone pratiche, già introdotte in diversi paesi, con lo scopo di perseguire un approccio comune per il settore delle costruzioni. In particolare costituire una rete comune europea volta ad omogeneizzare politiche e pratiche per favorire l'adozione del *Building Information Modelling* per la progettazione e la costruzione di opere pubbliche.

In **Francia** nel 2014 il governo ha promosso un progetto nazionale denominato MINnD (*Modélisation des INformations INteropérable pour les INfrastructures Durables*) per lo sviluppo di standard BIM per progetti infrastrutturali.

Nel 2015 il governo francese ha elaborato il piano per la digitalizzazione del settore delle costruzioni, il *Plan Transition Numérique du Bâtiment* (PTNB) che si poneva l'obiettivo di accelerare la transizione digitale per le imprese che operano nel settore delle costruzioni, individuando diversi progetti pilota e auspicando una progressiva adozione di processi BIM per la realizzazione di progetti pubblici. Nell'aprile del 2017 la strategia nazionale è stata rivista e aggiornata, delineando una *roadmap* nazionale per l'adozione del BIM: si prevede entro il 2022 un utilizzo diffuso del metodo BIM applicato alle nuove costruzioni.

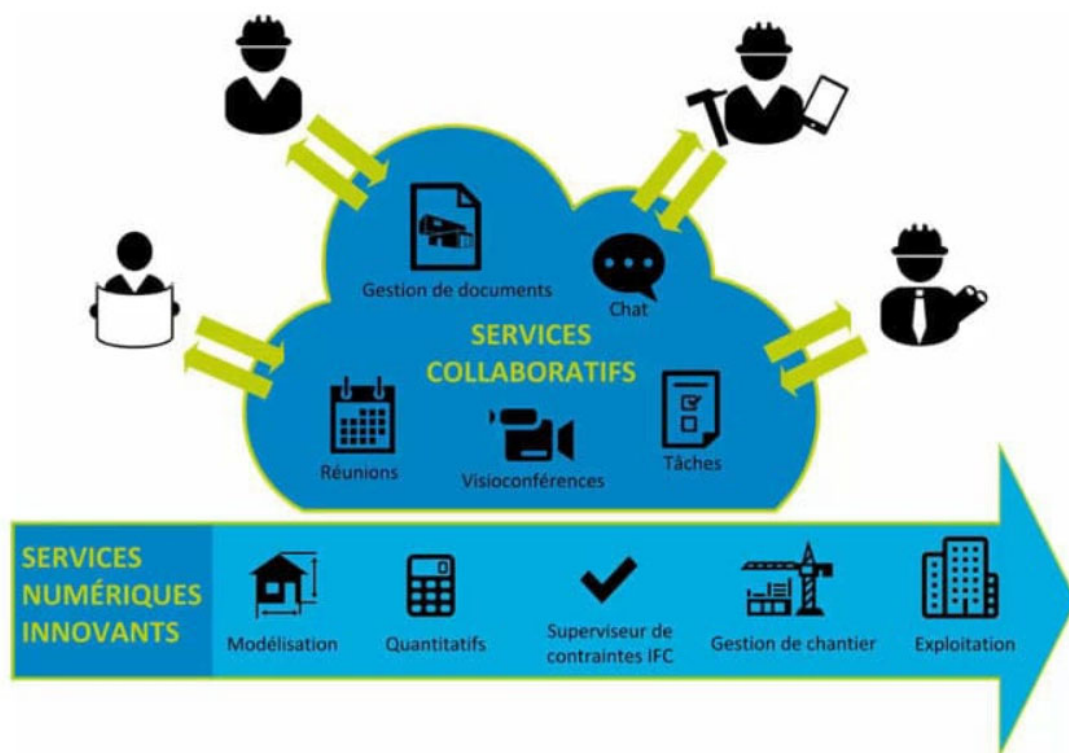


Illustrazione 14: La piattaforma collaborativa delineata dal PTNB, Plan Transition Numérique du Bâtiment, in Francia (fonte PTNB)

In **Germania** nel 2015 il governo ha diffuso una piattaforma digitale per le costruzioni (*Platform Digitales Bauen*) e ha supportato la costituzione di un gruppo di lavoro, il *Planem-Bauen 4.0*, costituito da diverse organizzazioni appartenenti al settore dell'industria e delle costruzioni, nato con l'intento di sviluppare una strategia nazionale riguardante il BIM ("standardizzazione dei processi e dei dispositivi, sviluppo di linee guida per i metodi di pianificazione digitale e fornire contratti tipo"<sup>25</sup>). L'obiettivo del governo tedesco è quello di rendere obbligatoria l'adozione del BIM per progetti di infrastrutture pubbliche a partire dal 2020.

La **Danimarca** è uno dei paesi europei più avanzati circa la digitalizzazione del settore delle costruzioni e l'adozione di processi BIM. La prima sperimentazione sul BIM fu avviata dal governo fin dal 2001, attraverso la costituzione del *Danish Digital Building Initiative* (DIBS), e dall'aprile del 2013 è stato reso obbligatorio, grazie all'adozione del *Danish BIM Mandate*. Il mandato richiedeva l'utilizzo di *Information&Communication Technology*, anche attraverso la consegna digitale della documentazione progettuale, per progetti pubblici di valore superiore ai

<sup>25</sup> Stufenplan Digitales Planen und Bauen, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015.

700mila euro e per progetti a partecipazione pubblica/privata di valore superiore ai 2,7 milioni di euro.

In **Olanda** il BIM in questi ultimi anni ha visto una diffusione molto importante nei settori dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni, grazie soprattutto alla promozione nell'utilizzo di processi BIM da parte di committenti pubblici, come ad esempio il *Central Government Real Estate Agency*. Fin dal 2012 il ministero dell'interno ha richiesto l'utilizzo di metodi BIM per il *facility management* di edifici pubblici. La direzione generale olandese per i lavori pubblici e la gestione delle risorse idriche, il *Rijkswaterstaat*, a cui sono in carico la progettazione, la costruzione, il management e la manutenzione delle principali infrastrutture del paese, sta lavorando all'adozione di standard operativi openBIM per lo sviluppo di grandi progetti infrastrutturali.

In **Spagna** nel 2015 il *Ministerio de Fomento* (ministero dello sviluppo), in accordo con la direttiva europea UE 2014/24, ha costituito una commissione BIM con il fine di stabilire la *roadmap* nazionale per l'implementazione e l'adozione dei processi BIM nel paese. L'uso del BIM è stato reso obbligatorio a partire dal 2018 per la costruzione di progetti pubblici di valore superiore ai 2 milioni di euro, e a partire dal luglio del 2019 per progetti di infrastrutture.

L'**Austria** ha sviluppato una serie di linee guida inerenti gli standard BIM per il settore delle costruzioni a partire dal 2015; in particolare le linee guida sono state sviluppate da ASI (*Austrian Standards International – Standardization and Innovation*) attraverso il pacchetto ÖNORM A 6241-1<sup>26</sup> per il BIM level 2 e il pacchetto ÖNORM A 6241-2<sup>27</sup> per l'adozione dell'iBIM level 3. In Austria tuttavia il BIM non è obbligatorio per gli appalti pubblici, ma nonostante ciò si tratta comunque di un processo piuttosto diffuso.

La **Norvegia** è considerato uno tra i paesi precursori a livello mondiale nell'adozione del BIM, il governo ha infatti diffuso requisiti e standard già a partire dal 2005. Il documento è stato quindi rivisto e aggiornato nel 2013, il *Statsbygg BIM Manual 1.2.1*; nel manuale sono presenti gli standard e i requisiti da applicare per la modellazione BIM nelle diverse discipline afferenti al settore delle costruzioni.

In **Italia** il Ministero delle Infrastrutture ha introdotto, tramite il Decreto Ministeriale n.560 del 2017, un piano per rendere obbligatorio il BIM a partire dal 2019, ma unicamente per progetti pubblici con un valore superiore ai 100 milioni di euro. Entro il 2023 si prevede di estendere l'obbligatorietà per le opere di valore pari o

---

<sup>26</sup> Digital structure documentation – Part 1: CAD data structures and Building Information Modelling (BIM) – Level 2.

<sup>27</sup> Digital structure documentation – Part 2: Building Information Modelling (BIM) – Level 3 iBIM.

superiore a 1 milione di euro, e dal 2025 per tutte le opere.

La società di consulenza olandese USP elabora dal 2009 una ricerca annuale, *European Architectural Barometer*, con l'intento di costruire un quadro comune comparabile circa l'andamento della professione nei principali 8 mercati europei (il campione è di circa 1.600 architetti, 200 intervistati per ogni paese); tra i temi di indagine presi in considerazione dallo studio compaiono la digitalizzazione del settore delle costruzioni e l'adozione del *Building Information Modelling* negli 8 paesi presi in esame (Gran Bretagna, Olanda, Francia, Belgio, Spagna, Polonia, Germania e Italia).

Secondo Dirk Hoogenboom<sup>28</sup>, ricercatore di USP ed estensore del rapporto annuale, gli architetti olandesi si presentano, nel contesto europeo, come tra quelli che hanno abbracciato in modo più deciso la transizione al digitale; il rapporto stima che l'adozione di metodi BIM tra gli architetti in Olanda abbia superato la soglia del 60%, il livello più alto dall'analisi comparata tra gli 8 paesi europei considerati nel rapporto. L'autore individua nei processi di prefabbricazione adottati in Olanda, in particolare nell'edilizia residenziale (anche privata), una delle principali ragioni circa la larga diffusione nel paese di metodi BIM applicati al settore delle costruzioni.

La Gran Bretagna, secondo il rapporto olandese, si attesta intorno al 40%; l'autore, nonostante riconosca la larga diffusione dei processi *Model-based* collaborativi adottati oltre Manica nel settore pubblico, individua quale fattore di freno alla completa adozione del BIM il settore residenziale privato, caratterizzato in questi ultimi anni da un forte sviluppo, non strettamente correlato però alla diffusione del *Bulding Information Modelling*.

La Francia, grazie alle politiche attuate, appare nello studio come il paese europeo in cui la crescita è stata maggiore comparando la diffusione del BIM nel 2013 (sotto il 10%) rispetto al 2017 (sopra il 30%). Ciò grazie anche ai numerosi finanziamenti pubblici attuati dal governo francese nel settore delle costruzioni, nel quale quasi il 40% dei progetti è assegnato da committenti pubblici (dove è maggiore la richiesta e la diffusione del BIM).

In Spagna la diffusione del BIM sta seguendo un percorso simile a quanto avvenuto in Francia, nonostante gli investimenti nel settore pubblico siano sensibilmente inferiori.

In Belgio l'adozione di processi BIM nel 2017 appare triplicata rispetto ai valori del 2013; secondo la ricerca olandese, la spinta decisiva pare ricondursi direttamente ad una crescente richiesta avviata da parte di costruttori e produttori.

In Germania l'adozione del BIM sta avvenendo molto lentamente, secondo lo studio

---

28 Hoogenboom 2018.

all'incirca il 20% degli architetti tedeschi utilizza processi BIM; rispetto ad altri paesi europei la decisiva spinta pubblica in Germania appare meno significativa nel settore delle costruzioni.

In Italia e in Polonia l'adozione di processi BIM non ha subito una particolare crescita tra il 2013 e il 2017; secondo lo studio ciò è da ricondurre ad una mancata spinta da parte dei governi nell'investire nell'adozione del BIM. In Italia, in particolare, il settore delle ristrutturazioni private costituisce una parte importante del mercato delle costruzioni, quindi secondo il ricercatore olandese sarà necessario lo stimolo dato dal settore pubblico.

Hoogenboom riconosce come, a livello europeo, la maggior parte degli appalti privati per grandi opere e degli incarichi afferenti al settore pubblico prevedano oggi l'utilizzo del BIM quale uno dei requisiti principali; ciò sta favorendo una progressiva adozione dei processi BIM ai diversi attori afferenti ai settori del progetto e delle costruzioni (imprenditori, ingegneri, installatori, etc.). Il ricercatore prevede, nel breve termine, un continuo e progressivo incremento nell'utilizzo del BIM prevalentemente in Olanda, Francia, Spagna e Belgio, in misura minore in Gran Bretagna e Germania; Italia e Polonia sembrano paesi condizionati dall'adozione o meno di politiche efficaci da parte dei rispettivi governi, in particolare per quanto concerne il settore pubblico.

<b>Country</b>	<b>Ranking 2013</b>	<b>Ranking 2017</b>
The Netherlands	1	1
United Kingdom	2	2
France	8	3
Belgium	6	4
Spain	3	5
Poland	5	6
Germany	4	7
Italy	7	8

*Illustrazione 15: Graduatoria dell'adozione del BIM in Europa, confronto tra il 2013 e il 2017 (fonte European Architectural Barometer, Hoogenboom 2018)*





#### 4. Il progetto di realizzazione della nuova metro di Doha: l'approccio processuale in un caso emblematico

Il *Qatar Integrated Railway Project* - QIRP - è uno dei più grandi e importanti progetti infrastrutturali attualmente in fase di realizzazione nel Middle East; concepito all'interno del programma nazionale "Vision2030"<sup>29</sup>, mira a costituire un nuovo sistema infrastrutturale ferroviario a servizio di passeggeri e merci, in grado di mettere in connessione città, porti e aeroporti. QIRP è un programma di sviluppo promosso da Qatar Rail<sup>30</sup> ed è costituito da tre progetti principali: la nuova metropolitana urbana (Doha Metro), il *Long Distance Rail* e il Lusail Tram.

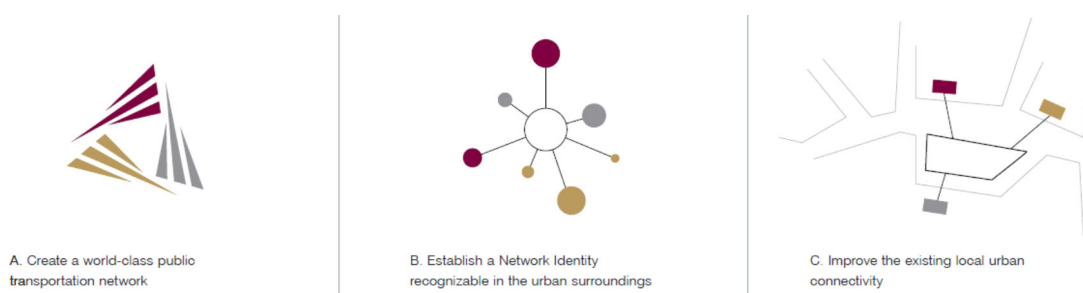


Illustrazione 16: La vision alla base del Qatar Integrated Railway Project

<sup>29</sup> Il *Qatar National Vision 2030* è un piano di sviluppo predisposto nel 2008 dal Segretariato Generale per la Pianificazione dello Sviluppo (*General Secretariat for Development Planning*). L'obiettivo primario dichiarato è quello di trasformare il paese in una società avanzata capace di perseguire e raggiungere uno sviluppo sostenibile. Nel piano vengono definite le criticità e le sfide che il paese dovrà affrontare, a partire dalla modernizzazione e dalla conservazione delle tradizioni, dai bisogni delle generazioni attuali e future, dal gestire la crescita e l'espansione incontrollata, dalla dimensione e dalla qualità della forza lavoro degli espatriati in base al percorso di sviluppo scelto, nonché dalla crescita economica, dallo sviluppo sociale e dalla gestione ambientale. A queste vengono presentati in contrappasso i quattro fondamenti della *vision* rappresentati da sviluppo umano (sistema educativo, sanitario e lavorativo), sviluppo sociale (assistenza sociale e protezione, solida struttura sociale e cooperazione internazionale), sviluppo economico (sana gestione economica, sfruttamento responsabile di petrolio e gas nonché adeguata diversificazione economica) e sviluppo ambientale (equilibrio tra esigenze di sviluppo e protezione dell'ambiente). La *vision* si pone quindi come base di indirizzo per la futura strategia nazionale e, attraverso piani, programmi e progetti, per la sua attuazione.

<sup>30</sup> *Qatar Railways Company*, nota come Qatar Rail (QR), è una compagnia ferroviaria di proprietà statale fondata nel 2011; la società è responsabile della progettazione, costruzione, messa in servizio, funzionamento e manutenzione nonché, una volta completata, della gestione operativa dell'intera rete.

L'obiettivo è quello di costituire un nuovo sistema di trasporto pubblico integrato che, una volta completato, possa permettere ai passeggeri di spostarsi facilmente all'interno dell'agglomerato urbano di Doha attraverso la rete urbana e regionale prevista.

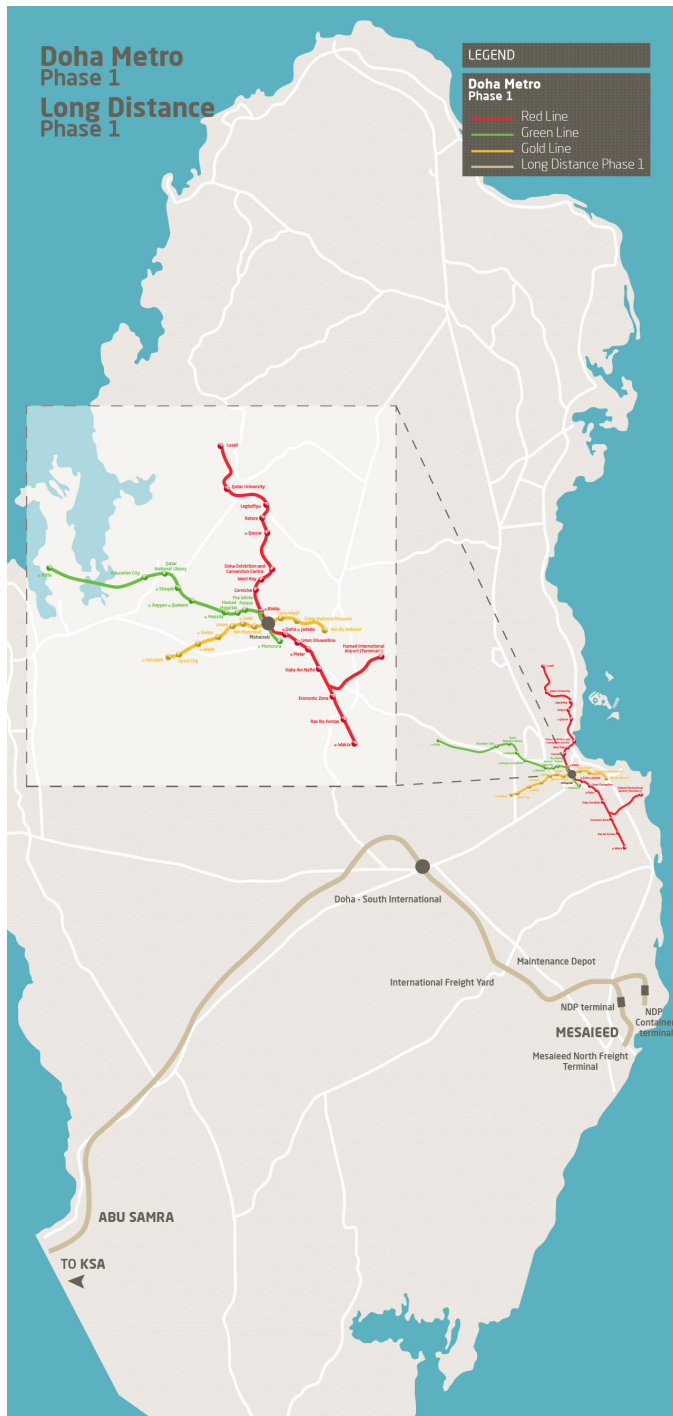


Illustrazione 17: La prima fase di Doha Metro e del Long Distance Rail (fonte web Qatar Rail)

## Doha Metro

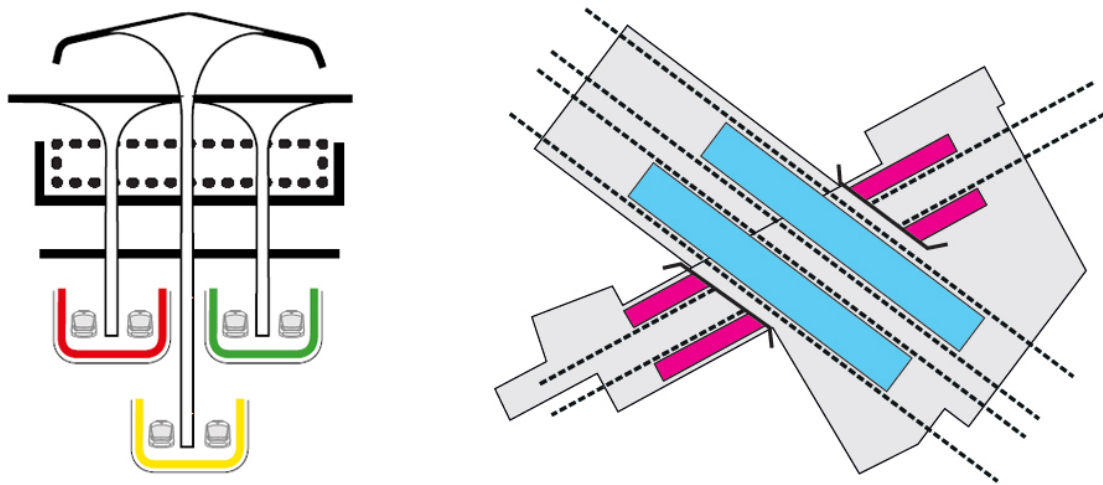
Il progetto della nuova metro di Doha mira a costituire un nuovo sistema di trasporto pubblico su ferro in grado di servire i flussi urbani e suburbani dell'intera area metropolitana.

Il progetto prevede in una prima fase la realizzazione entro il 2020 di tre linee – *Red Line*, *Gold Line* e *Green Line* - servite da 37 stazioni e con un'estensione complessiva della rete pari a circa 76 chilometri; a questa farà seguito una seconda fase in cui si prevede la realizzazione di un'ulteriore quarta linea – *Blue Line* - e l'estensione di quelle già realizzate con 60 nuove stazioni da completare entro il 2026.



Illustrazione 18: La prima fase del progetto della nuova metro di Doha che sarà completato entro il 2020 con le tre linee previste (fonte web Qatar Rail)

Le tre linee previste nella prima fase avranno come fulcro di interscambio e connessione la stazione centrale di Msheireb, considerato l'hub principale dell'intera rete metropolitana; la stazione di Msheireb è infatti costituita da due distinti livelli interrati sovrapposti di banchine: il *Platform Gold* afferente alla *Gold Line*, che si sviluppa in direzione est-ovest, posto ad una quota di circa 32 metri sotto al livello di ingresso della stazione, il *Platform Red & Green* afferente alle linee *Red Line* e *Green Line*, che si sviluppano in direzione sudest-nordovest, posto ad una quota di circa 22 metri sotto al livello di ingresso.



*Illustrazione 19: Sulla sinistra schema in sezione con i diversi livelli della stazione di Msheireb, il livello di ingresso at grade, il mezzanino, il concourse, il platform Red & Green e infine il platform Gold; sulla destra schema inerente la disposizione planimetrica delle banchine passeggeri nei due platform, centrale per il platform Red & Green - in ciano - e laterale per il platform Gold - in viola (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)*

### ***Long Distance Rail***

Il *Long Distance Rail* è concepito per mettere in connessione i principali centri del Qatar con il sistema infrastrutturale e produttivo di scala regionale - costituito da porti, aeroporti, aree industriali e logistiche - e con i principali paesi del GCC (Consiglio di Cooperazione del Golfo) quali Arabia Saudita, Bahrain, Kuwait, Emirati Arabi Uniti e Oman, attraverso una rete ferroviaria regionale.

Questa nuova rete sarà costituita da cinque linee principali: linea merci dal porto di Mesaieed, posto a circa 50 chilometri a sud di Doha, con l'area industriale di Ras Laffan situata a circa 80 chilometri a nord della capitale; linea mista merci e

passaggeri da Doha a Dukhan, posta a circa 80 chilometri ad ovest della capitale; linea mista merci e passeggeri da Doha alla località di Al Shamal posta all'estremità nord della penisola del Qatar; linea mista merci e passeggeri da Doha all'Arabia Saudita; linea passeggeri ad alta velocità da Doha al Bahrain. L'attuazione del progetto è prevista in quattro distinte fasi, la prima prevede la costruzione di circa 140 chilometri di linee merci e passeggeri a partire dal 2015, per giungere al totale completamento della quarta fase nel 2030.



Illustrazione 20: Le linee ferroviarie afferenti al Long Distance Rail (fonte web Qatar Rail)



## Lusail Tram

Il Lusail Tram prevede la realizzazione di una rete tramviaria di superficie con un'estensione di 19 chilometri a servizio di Lusail City<sup>31</sup>, un nuovo insediamento urbano fronte mare per 200.000 abitanti e 170.000 lavoratori (si stima che con i visitatori previsti si possa arrivare a quasi 450.000 presenze giornaliere) attualmente in fase di costruzione a nord di Doha. La nuova rete tramviaria di Lusail sarà costituita da 4 differenti linee e servita da 38 stazioni, di cui 7 saranno ipogee; sono previste inoltre delle interconnessioni sia con la metro di Doha (la stazione di Lusail fungerà da nodo di interscambio tra la linea della metro Red Line North e la rete tramviaria), sia con il nuovo servizio ferroviario regionale. L'entrata in esercizio è prevista per il 2020, attualmente è in corso la fase di *testing and commissioning*<sup>32</sup> sul primo tratto che entrerà a breve in funzione.



Illustrazione 21: Elaborazione tridimensionale dello sviluppo urbano di Lusail City (fonte web Lusail Real Estate Development Company)

<sup>31</sup> Lusail City è concepita, negli intenti dei promotori, come una città ecologica ad impatto zero; "A City with a Vision" è il motto che guida l'intera operazione, concepita all'interno del piano "Vision2030". Sta sorgendo su di un'area di 38 chilometri quadrati e include, oltre allo sviluppo a nord della baia di Al Qutaiyya, 4 nuove isole artificiali. La città sarà costituita da 19 differenti distretti dove già sorgono complessi residenziali, distretti commerciali, alberghi e torri per uffici, nonché scuole, moschee e centri sanitari; il waterfront includerà spazi aperti per attività sportive e nuovi porticcioli per i diportisti. Gli spazi aperti, una volta completati i vari interventi, manterranno una quota del 17% rispetto all'estensione totale della città. A Lusail City sorgono inoltre alcune grandi strutture sportive, tra le quali il nuovo stadio Lusail Stadium, progettato da Norman Foster, che ospiterà la partita inaugurale e la finale dei campionati mondiali di calcio nel 2022 e il circuito di Lusail che già ospita le gare del motomondiale.

<sup>32</sup> Il "testing and commissioning" è un insieme di procedure, verifiche di conformità e test operativi che vengono effettuati a partire dall'ultimazione delle fasi di costruzione e installazione, con il fine di portare l'opera al pieno funzionamento operativo, conformemente agli intenti progettuali e alle procedure normative e di sicurezza applicate.



*Illustrazione 22: Elaborazione tridimensionale di uno spazio pubblico di Lusail City, l'interscambio modale tra tram di superficie e metro (fonte web Lusail Real Estate Development Company)*



*Illustrazione 23: Vista di una delle avenue di Lusail City con diversi edifici per uffici in corso di costruzione, gennaio 2018 (foto di Marco Nonveiller)*

Con il fine di meglio inquadrare questi ingenti programmi infrastrutturali che tanto stanno cambiando il Qatar in questo decennio<sup>33</sup>, appare utile proporre qui di seguito alcune riflessioni e alcuni dati circa la crescita e lo sviluppo che ha interessato il paese, e la sua capitale Doha, a partire dal secolo scorso.

Il Qatar è stato interessato negli ultimi decenni da una crescita rapidissima e tumultuosa; la sua economia, basata essenzialmente sulla pesca e sul mercato delle perle, ha subito a partire dal secondo dopoguerra del secolo scorso cambiamenti notevoli, soprattutto a partire dal 1939, anno in cui furono scoperti vasti giacimenti petroliferi (l'export di prodotti petroliferi è iniziato nel secondo dopoguerra a partire dal 1949). Il paese era abitato prevalentemente da popolazioni nomadi e l'unico insediamento urbano stanziale sorgeva in quella che è l'attuale zona centrale di

---

<sup>33</sup> Nel 2010 la FIFA ha designato il Qatar come nazione ospitante del Mondiale di calcio 2022 e nel 2011 sono iniziati i processi di gara per assegnare i primi lavori inerenti la realizzazione della metro.



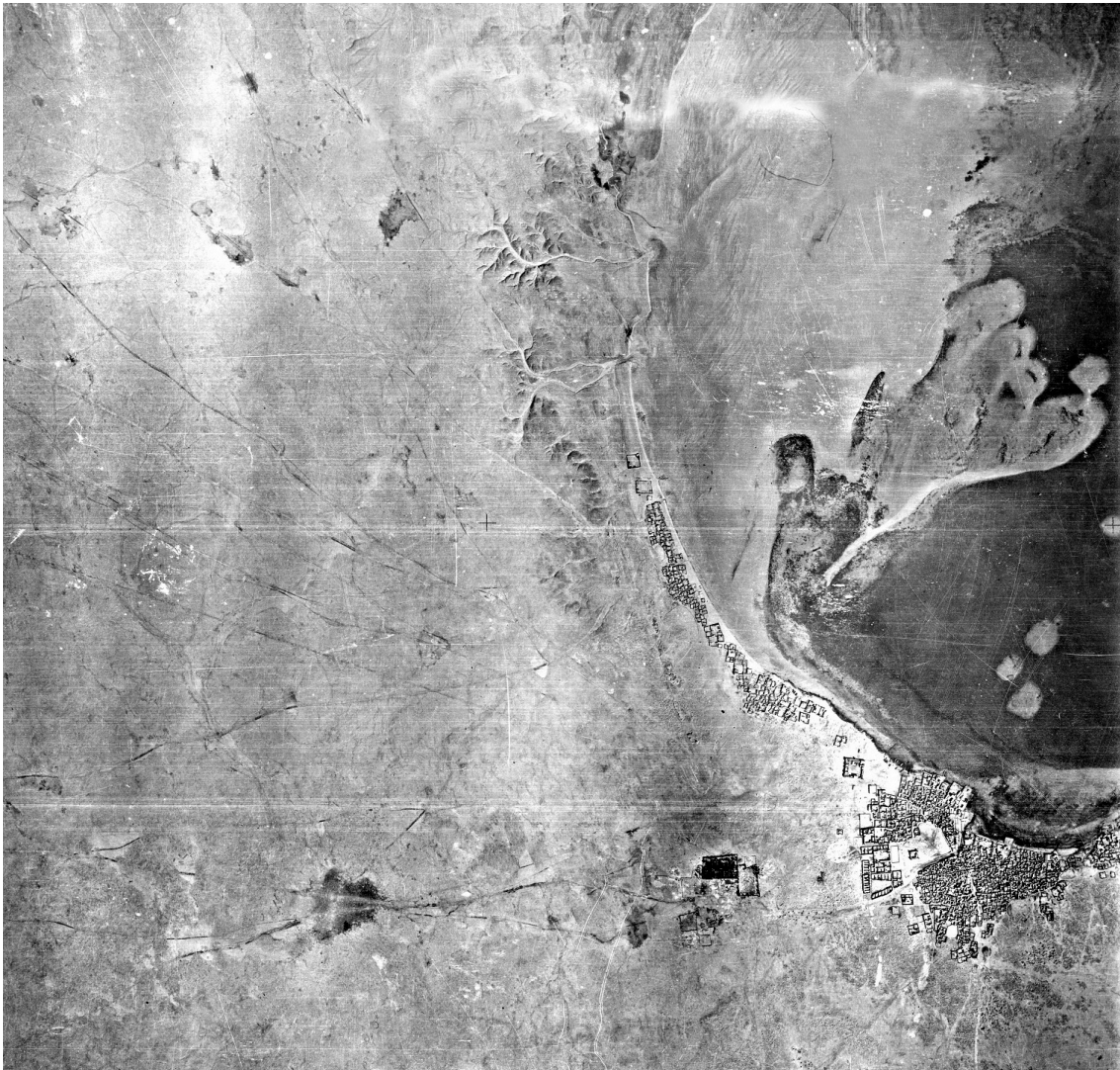
Doha downtown, chiamata "Ad Dawhah", lungo la linea di costa, laddove si concentravano i commerci e gli scambi di prodotti grazie al porto e al retrostante souq. Negli anni '30 la popolazione della città era di circa 12.000 abitanti e l'intero Qatar non raggiungeva i 30.000 abitanti. Durante la seconda metà del XX secolo, il Qatar ha assistito al primo periodo di urbanizzazione, strettamente connesso con il rapido aumento della produzione petrolifera<sup>34</sup>.



*Illustrazione 24: L'insediamento urbano di Doha negli anni '40 del secolo scorso (fonte MME – Ministry of Municipality and Environment)*

---

34 Wiedmann, Salama, Thierstein, 2012. *Urban evolution of the city of Doha: an investigation into the impact of economic transformations on urban structures.*



*Illustrazione 25: L'insediamento urbano di Doha negli anni '40 del secolo scorso (ortofoto, fonte MME – Ministry of Municipality and Environment)*

Shaaban e Radwan<sup>35</sup> (2014), riprendendo uno studio del 2011 (Boussaa, Al-Asadi, Al-Ghawi, Ismail), tentano di ripercorrere i principali momenti determinanti nello sviluppo economico e urbano della città di Doha, sistematizzando questo sviluppo in tre distinte fasi: *Early Traditional Phase - pre-Oil Era to 1950'*, il periodo antecedente la scoperta e lo sfruttamento dei giacimenti petroliferi, caratterizzato da un'economia fondata su pesca e commercio; si stima che gli abitanti dell'intero paese fossero circa 27.000; *Transitional Phase - Post-Oil Era 1960'*, il periodo di transizione in cui la ricchezza data dal petrolio funse da catalizzatore per lo sviluppo urbano, dal

<sup>35</sup> Shaaban, Radwan, 2014. *Rebuilding the transportation system in the city of Doha.*

1955 il paese iniziò ad accogliere espatriati e la popolazione della città crebbe di circa 600 abitanti tra il 1949 e il 1969; *Rapid Modernization Phase - 1970' till today*, il paese dichiarò la propria indipendenza dalla protezione britannica nel 1971 e la capitale Doha iniziò uno sviluppo urbano tumultuoso, modificando radicalmente la propria morfologia, sia attraverso la realizzazione di nuovi assi infrastrutturali verso l'interno desertico del paese, sia attraverso l'avanzamento della linea di costa, perseguito sottraendo progressivamente porzioni di mare (si citano come mera semplificazione di questa strategia lo sviluppo compiuto a partire dagli anni '80 del distretto finanziario di West Bay e la creazione dei nuovi quartieri residenziali e commerciali che sono sorti sulle isole di The Pearl); in questo periodo la città iniziò ad attrarre migliaia di lavoratori, prevalentemente nei settori delle costruzioni, dell'ingegneria e dell'industria. Negli anni '70 del secolo scorso venne inoltre scoperto il più grande giacimento di gas naturale, il cosiddetto North Field, situato nel Golfo Persico in acque qatarine; la produzione iniziò a partire dal 1989 e dall'inizio degli anni '90 iniziò l'esportazione di LNG (gas naturale liquefatto). Dal 2006 il Qatar è il maggiore esportatore al mondo di gas naturale liquefatto.

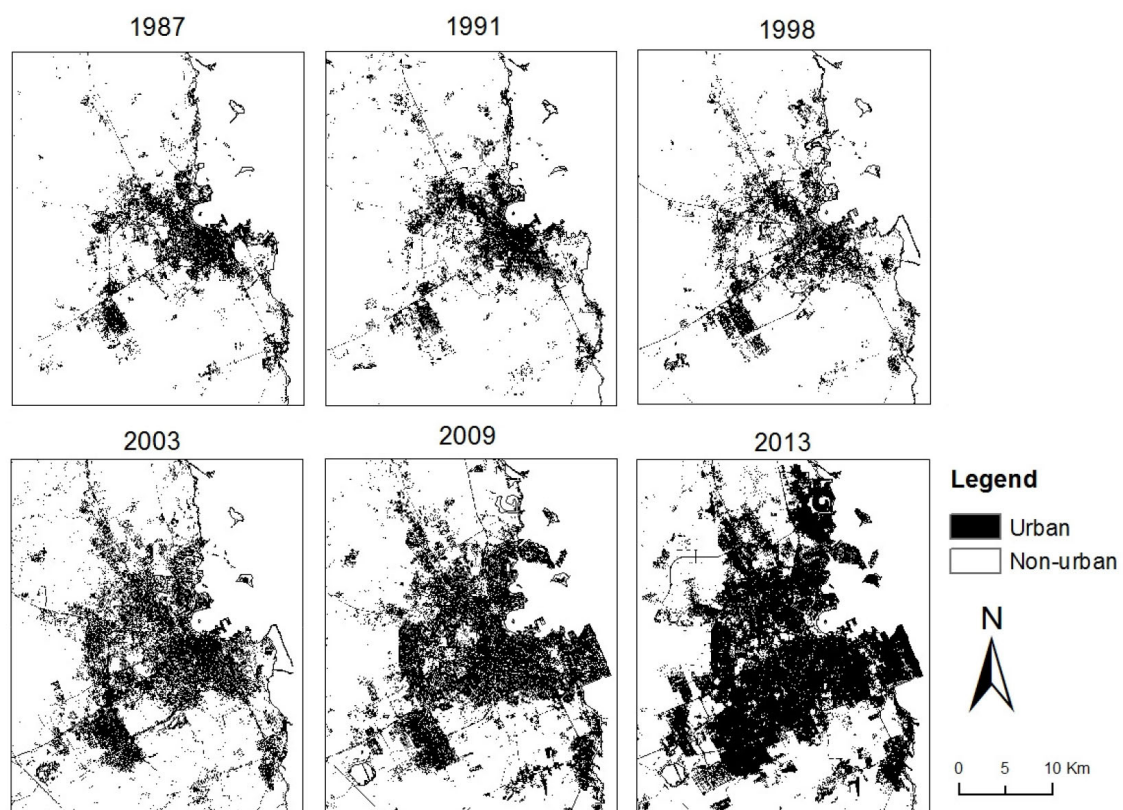
Oggi circa il 90% della popolazione del paese vive nella zona metropolitana di Doha e, tra gli ultimi due censimenti effettuati nel 2004 e nel 2010, la popolazione del paese è più che raddoppiata in soli 6 anni<sup>36</sup>.

Significativo su questo aspetto lo studio prodotto da Shandas, Makido e Ferwati nel 2017 sul rapido processo di inurbamento e sulle modificazioni nell'uso del suolo di Doha tra il 1987 e il 2013<sup>37</sup>; lo studio, illustrato attraverso una sequenza di immagini prodotte a partire da dati satellitari, mette in evidenza lo sviluppo della conurbazione della città ad intervalli predeterminati di tempo, rendendo evidente lo sviluppo tumultuoso che ha interessato la capitale del Qatar in un arco temporale di 25 anni.

---

36 Rizzo, 2013. *Metro Doha*.

37 Shandas, Makido, Ferwati, 2017. *Rapid urban growth and land use pattern in Doha, Qatar: opportunities for sustainability?* *European Journal of Sustainable Development Research*, 1(2), 11.



*Illustrazione 26: Lo sviluppo della conurbazione urbana di Doha tra il 1987 e il 2013 illustrato attraverso immagini prodotte a partire da dati satellitari su costruito e spazio aperto (fonte Shandas, Makido, Ferwati, 2017)*



*Illustrazione 27: L'evoluzione dello skyline di Doha, West Bay, nell'arco temporale di nemmeno due decenni, dal 1996 al 2014 (fonte web)*

L'emiro Hamad bin Khalifa Al Thani ha innescato un processo di liberalizzazione del sistema economico del paese, favorendo progressivamente l'apertura del mercato interno a grandi gruppi internazionali, favorendo di fatto un processo di internazionalizzazione che ha avuto un notevole impatto nell'evoluzione urbana del Qatar<sup>38</sup>, trasformando la città di Doha da piccolo villaggio di pescatori negli anni '40 del secolo scorso a vibrante centro urbano ed emergente hub regionale per servizi con quasi 2 milioni di abitanti<sup>39</sup>. Salama e Wiedman (2013) rimarcano inoltre come, all'interno di questa strategia di internazionalizzazione perseguita dall'emiro, sia stato paradigmatico il lancio nel 1996 dell'emittente televisiva satellitare *Al Jazeera*<sup>40</sup>, quale agenzia di informazione in lingua araba di scala regionale e internazionale, dando al paese una nuova centralità politica e culturale all'interno del panorama geopolitico mediorientale.

---

38 Furlan, Faggion, 2015. *The development of vital precincts in Doha: urban regeneration and socio-cultural factors*.

39 Salama, Wiedman, 2013. *Demystifying Doha*.

40 *Al Jazeera* si è imposta fin dal 1998 quale principale emittente in lingua araba, grazie soprattutto alla copertura totale assicurata in occasione dell'Operazione Desert Fox contro l'Iraq, e negli anni seguenti con reporter in collegamento diretto dalla seconda intifada (2000), dalla guerra in Afghanistan con la sede di Kabul (disturta nel 2001) e dalla guerra in Iraq dalla sede di Baghdad (disturta nel 2003). Nel 2006 è stata inoltre lanciata *Al Jazeera International* che trasmette solo in lingua inglese dalle quattro sedi principali di Doha (per Africa e Medioriente), Washington D.C. (per l'America), Kuala Lumpur (per l'Asia) e Londra (per l'Europa).





Illustrazione 28: La conurbazione urbana di Doha nel secondo decennio del XX secolo (ortofoto)

La rapida crescita urbana di Doha, e di molte zone del Qatar, ha reso difficile negli ultimi decenni una pianificazione efficace e coordinata, generando quei problemi propri dell'espansione urbana incontrollata a bassa densità (*urban sprawl*) quali la progressiva congestione dovuta al crescente traffico veicolare di matrice privata e una cattiva localizzazione, affiancata ad un'iniqua distribuzione spaziale, dei servizi pubblici e dell'accesso al sistema delle infrastrutture.

Il basso costo del carburante, ma soprattutto lo *sprawl* urbano e lo sviluppo policentrico avvenuto lungo i principali assi viari, hanno portato ad un crescente e incontrollato traffico veicolare privato. Ciò ha generato in molte parti della città, prevalentemente nelle ore di punta, una congestione diffusa dell'intera rete stradale principale, innalzando progressivamente i valori delle emissioni in atmosfera e i tempi di percorrenza, nonostante gli ingenti investimenti governativi attuati per

migliorare la rete infrastrutturale e la viabilità stradale.

Da uno studio del 2016 condotto dal *World Health Organization*<sup>41</sup> emerge che, su di un campione a livello globale di 103 differenti paesi, il Qatar ha registrato il secondo livello più alto di particelle PM2.5 in atmosfera, dietro all'Arabia Saudita; per quanto riguarda i livelli di particelle PM10 misurati al suolo su diversi contesti urbani, lo studio mostra come Doha abbia registrato il quinto livello più alto rispetto alle diverse città oggetto dello studio (la precedono Riyadh in Arabia Saudita, Ma'ameer in Bahrain, Delhi in India e il Cairo in Egitto).

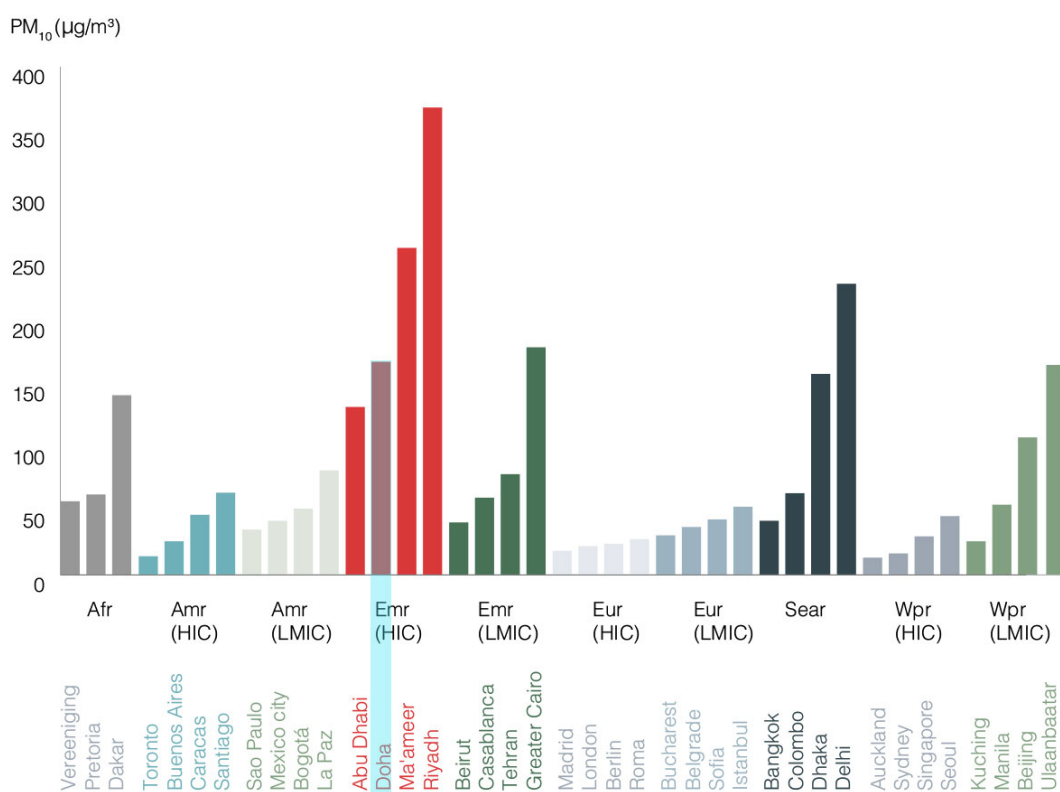


Illustrazione 29: I livelli di PM10 registrati a livello globale in alcune città principali, suddivise per differente contesto regionale, quale ultimo dato disponibile riferito al periodo 2010-2015 – evidenziata la città di Doha nel contesto regionale mediorientale (fonte World Health Organization 2016)

41 World Health Organization, 2016. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. WHO Press, Ginevra, Svizzera.



*Illustrazione 30: Raffronto di scala tra l'ingrandimento dell'insediamento urbano di Doha nel 1937 e la conurbazione urbana di Doha nel 2015 (fonte Alraouf – MME Ministry of Municipality and Environment)*

In questo contesto si inseriscono i progetti portati avanti da Qatar Rail per implementare nuovi sistemi di trasporto pubblico su ferro, a partire dalla scala locale e urbana del *Lusail Tram* e di *Doha Metro*, fino alla scala regionale e transnazionale del *Long Distance Rail*. Tali progetti perseguono inoltre sia obiettivi di breve periodo, con il fine di agevolare gli spostamenti di corto e medio raggio riducendo i tempi di percorrenza e la congestione veicolare, sia obiettivi di più lungo periodo, con l'intento di innescare molteplici progetti di sviluppo urbano legati a queste nuove reti di trasporto e ai nodi di interscambio modale che si verranno a generare.

Le strategie per lo sviluppo urbano di Doha, che come detto stabiliscono un quadro con obiettivi di breve e di lungo termine, sono state definite nel Qatar National Master Plan 2032; secondo il Piano infatti, tutti i principali progetti di trasformazione della città dovranno essere completati entro il 2026. Questi progetti includono la costruzione di sistemi o infrastrutture di trasporto, quali autostrade, ferrovie, linee metropolitane e tram urbani, implementando inoltre i servizi di trasporto pubblico esistenti, quali gli autobus urbani; nel Piano si prevede inoltre la realizzazione di nuove comunità urbane, attraverso sviluppi residenziali e transit-oriented



developments (TODs)<sup>42</sup>.

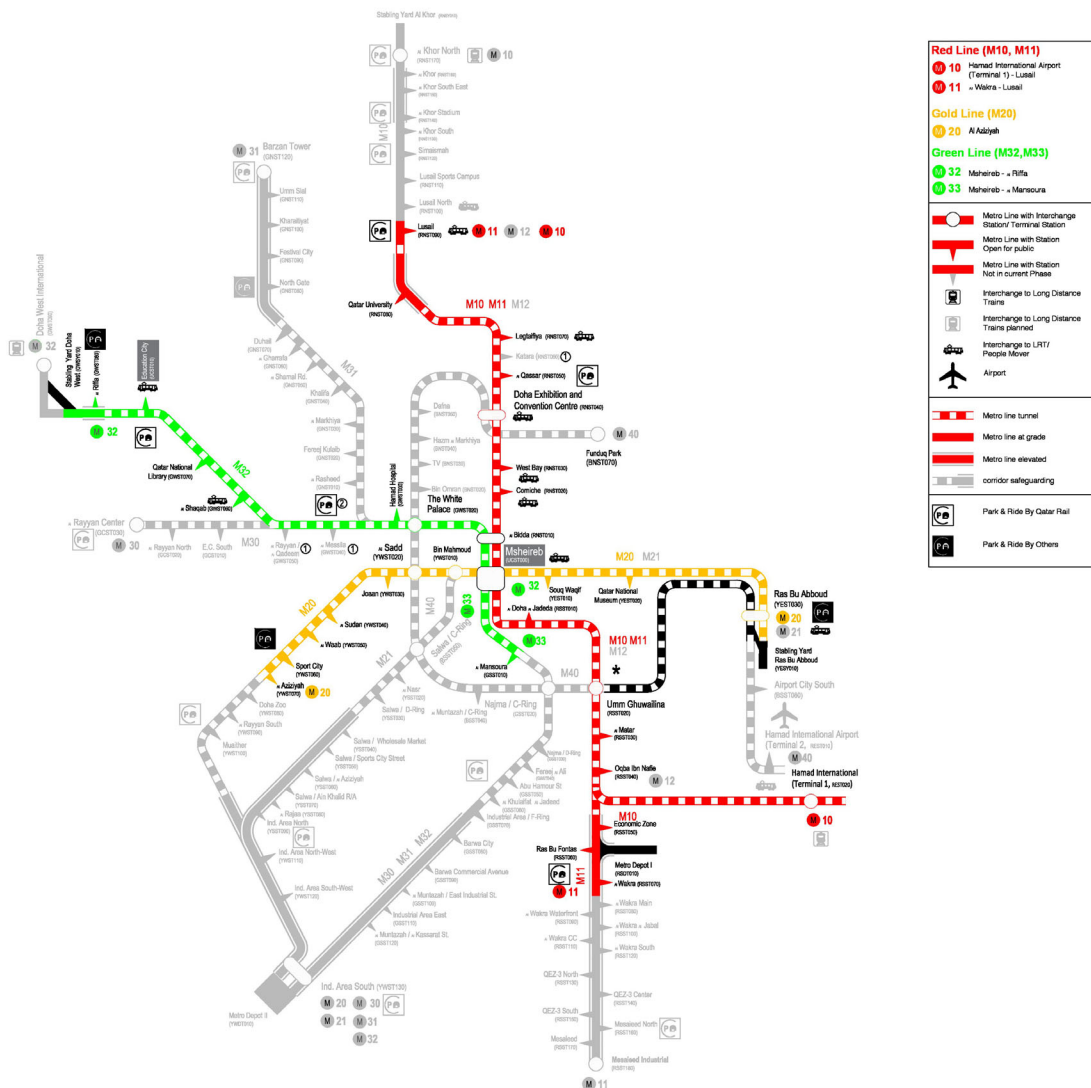


Illustrazione 31: La prima fase della metro di Doha che sarà completato entro il 2020 con le tre linee previste (fonte Qatar Rail)

42 Furlan, Faggion, 2015. *The development of vital precincts in Doha: urban regeneration and socio-cultural factors.*

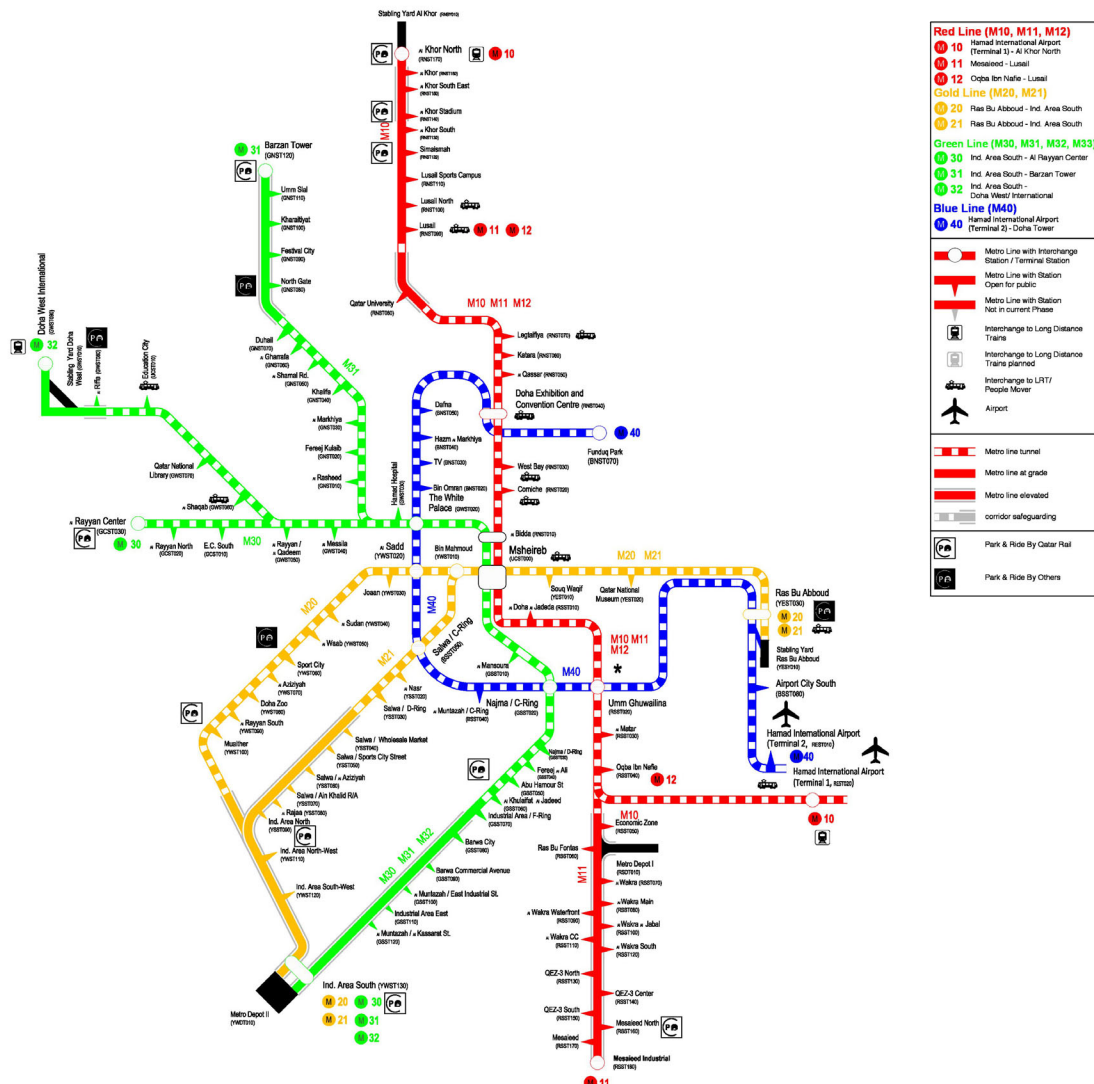


Illustrazione 32: La seconda fase della metro di Doha che si prevede di completare entro il 2026, grazie all'estensione delle tre linee previste nella prima fase e alla quarta linea Blu (fonte Qatar Rail)

Un'efficace progettazione dei nodi di transito, costituiti dalle nuove stazioni della metro di Doha, e la pianificazione dei contesti urbani afferenti a questi nodi, potranno influenzare positivamente il futuro sviluppo urbano della città, attraverso interventi maggiormente bilanciati nei confronti delle diverse comunità locali interessate e dei visitatori della città<sup>43</sup>. Ciò sarà inoltre determinante per garantire

43 Furlan, Faggion, 2015. *The development of vital precincts in Doha: urban regeneration and socio-cultural factors*. Sipe, Burke, 2014. *Integration of land use and transportation systems*.

una piena fruizione dei servizi predisposti per i Mondiali di calcio del 2022 e per i molti interventi nel campo della cultura e dell'educazione già portati a termine; tra questi ultimi si pensi ad esempio al *National Museum of Qatar* progettato dall'architetto francese Jean Nouvel e inaugurato nel marzo del 2019, alla *Qatar National Library* progettata dall'architetto olandese Rem Koolhaas e inaugurata nell'aprile del 2018 nel cuore di Education City<sup>44</sup>, una cittadella dell'educazione che ospita ogni anno più di 10.000 studenti, o allo stesso sviluppo urbano promosso con la trasformazione dei 35 ettari del quartiere centrale di *Msheireb Downtown Doha*<sup>45</sup>, su masterplan dello studio inglese Allies and Morrison assieme ad Arup, posto a ridosso della stazione di Msheireb, nodo principale dell'intera rete della metro di Doha.



*Illustrazione 33: Inquadramento dello sviluppo urbano dell'area centrale di Msheireb (fonte web Allies and Morrison)*

---

44 *Education City* è un'iniziativa promossa dalla *Qatar Foundation* e sorge nella zona ovest di Doha; il campus è operativo fin dal 1997, anno in cui si insediò la *Virginia Commonwealth University*. Oggi nel campus sono presenti sei università americane, un'università inglese, un'università francese e la qatarina *Hamad Bin Khalifa University*. Nell'area sorgono inoltre centri di ricerca, biblioteche, una moschea, il Mathaf - *Arab Museum of Modern Art* e il *Qatar National Convention Centre* progettato dall'architetto giapponese Arata Isozaki.

45 *Msheireb Downtown Doha* è un intervento di sviluppo e trasformazione urbana promosso da *Msheireb Properties* posto in prossimità della principale stazione della nuova metro di Doha. Si tratta di un progetto di rigenerazione urbana dell'antico distretto commerciale di Doha downtown, attuato attraverso il recupero di alcuni manufatti esistenti e la realizzazione di nuovi edifici, seguendo i più alti standard ambientali e di sostenibilità, quali il protocollo LEED (l'intero sviluppo è riconosciuto LEED Gold e molti edifici LEED Platinum). La costruzione dei primi interventi è iniziata nel 2010 e il completamento dell'intero quartiere è previsto intorno al 2020.

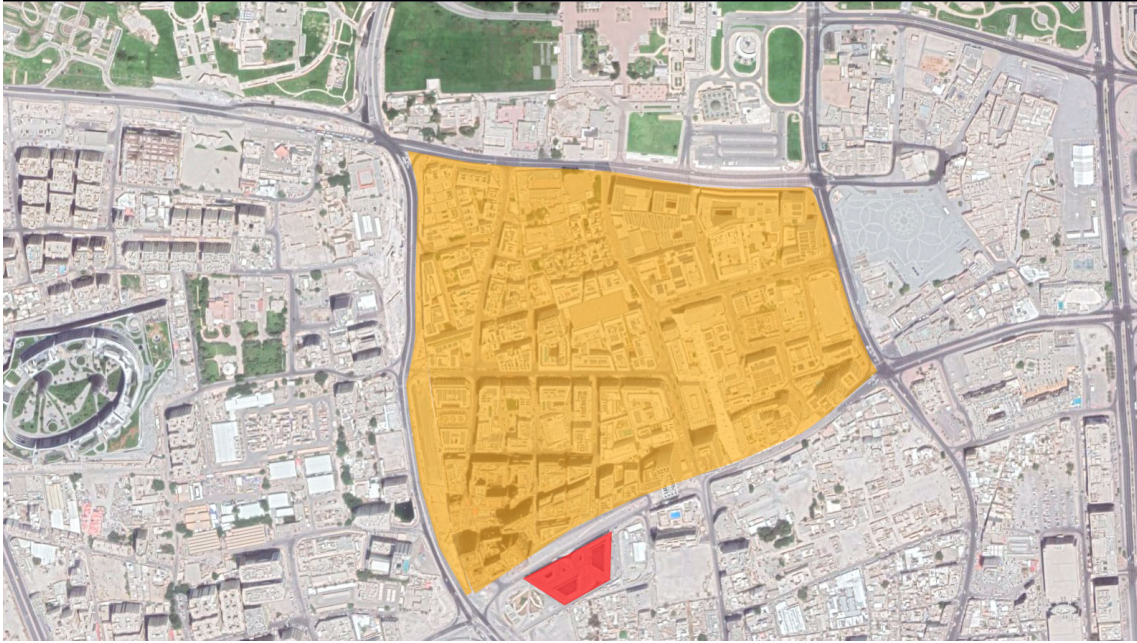


*Illustrazione 34: Vista aerea tridimensionale dello sviluppo urbano dell'area centrale di Msheireb, da cui appare evidente la progressiva densificazione proposta con gli edifici a torre posti di fronte alla stazione della metro di Msheireb (fonte web Allies and Morrison)*

Uno sviluppo urbano dunque maggiormente orientato verso una pianificazione del costruito da attuare in sinergia con i sistemi di mobilità pubblica e con i nodi di trasporto che si stanno realizzando, guardando dunque al modello dei *Transit Oriented Development* (TOD), quali nuovi interventi di ricucitura e di addensamento dello *urban sprawl* generato con gli interventi residenziali suburbani degli anni '80 e '90 sorti a ridosso delle principali arterie stradali della viabilità urbana.

L'intervento di sviluppo urbano in corso di realizzazione nell'area centrale di Msheireb (come detto su masterplan di Allies and Morrison e di Arup) si inserisce perfettamente in questa strategia di progressiva densificazione del costruito; l'intero sviluppo è inoltre caratterizzato, a partire dalla scala dell'edificio fino alla scala dell'isolato e del quartiere, da una forte *mixité* funzionale e insediativa, evidente sin dalla pluralità di tipologie architettoniche previste e dal trattamento degli spazi pubblici, prevalentemente pedonali, del nuovo quartiere.





*Illustrazione 35: Inquadramento dello sviluppo urbano dell'area centrale di Msheireb con evidenziata la localizzazione della stazione della metro (fonte ortofoto google con elaborazione dell'autore)*

In una prima fase sono stati realizzati diversi edifici pubblici (*Qatar National Archive* e *Diwan Amiri Quarter*), a costituire un nuovo fronte urbano, in seguito sono stati recuperati diversi edifici preesistenti, destinandoli a nuovi usi museali, e sono stati realizzati vari edifici ad uso terziario, commerciale, residenziale e alberghiero, tenuti insieme da un tessuto pedonale connettivo di spazi e servizi pubblici ad uso della comunità quali piazze, portici e giardini.



*Illustrazione 36: Il Qatar National Archive progettato da Allies and Morrison nel quartiere di Msheireb (foto di Marco Nonveiller)*

Appare significativo come gli stessi promotori e investitori locali descrivano quale obiettivo strategico generale dell'intervento di rigenerazione urbana del quartiere di Msheireb "quello di invertire il modello di sviluppo immobiliare attuato in Qatar negli ultimi anni, che ha di fatto incoraggiato un uso del suolo caratterizzato da interventi isolati ad alta intensità energetica, favorendo un progressivo *urban sprawl* e generando una dipendenza eccessiva dal trasporto su auto privata."<sup>46</sup>

---

<sup>46</sup> *Msheireb Downtown Doha Catalogue* preparato da *Msheireb Properties*.

L'intervento di rigenerazione urbana promosso a Msheireb si configura quale caso esemplare per uno sviluppo immobiliare e urbano attuato in sinergia con i nuovi sistemi di mobilità collettiva in fase di realizzazione a Doha, perseguendo di fatto un modello vicino al *Transit Oriented Development* (TOD)<sup>47</sup>, concetto codificato da Peter Calthorpe fin dalla fine degli anni '80 e descritto nella pubblicazione del 1993 "*The Next American Metropolis*".

L'intervento compatto è leggibile nell'intero progetto di masterplan, ma la densificazione, edilizia e funzionale, aumenta progressivamente e notevolmente nei fronti urbani prossimi al nodo di trasporto collettivo rappresentato dalla stazione centrale della metro di Msheireb, inaugurata parzialmente nel mese di maggio del 2019.

Nel Qatar National Development Framework (QNDF) sono definiti i processi strutturali per l'attuazione dello sviluppo del Qatar al 2032 (*Spatial Strategy Concept 2032*) e viene delineato, quale futuro modello di sviluppo urbano di Doha, una progressiva decostruzione della metropoli attraverso l'introduzione di centri urbani gerarchizzati (Alraouf, 2019). Il TOD rientra dunque nei piani di sviluppo urbano e del sistema di trasporto predisposti dal governo del Qatar, con il fine di superare un modello di sviluppo superato basato sulla dipendenza dall'automobile privata.

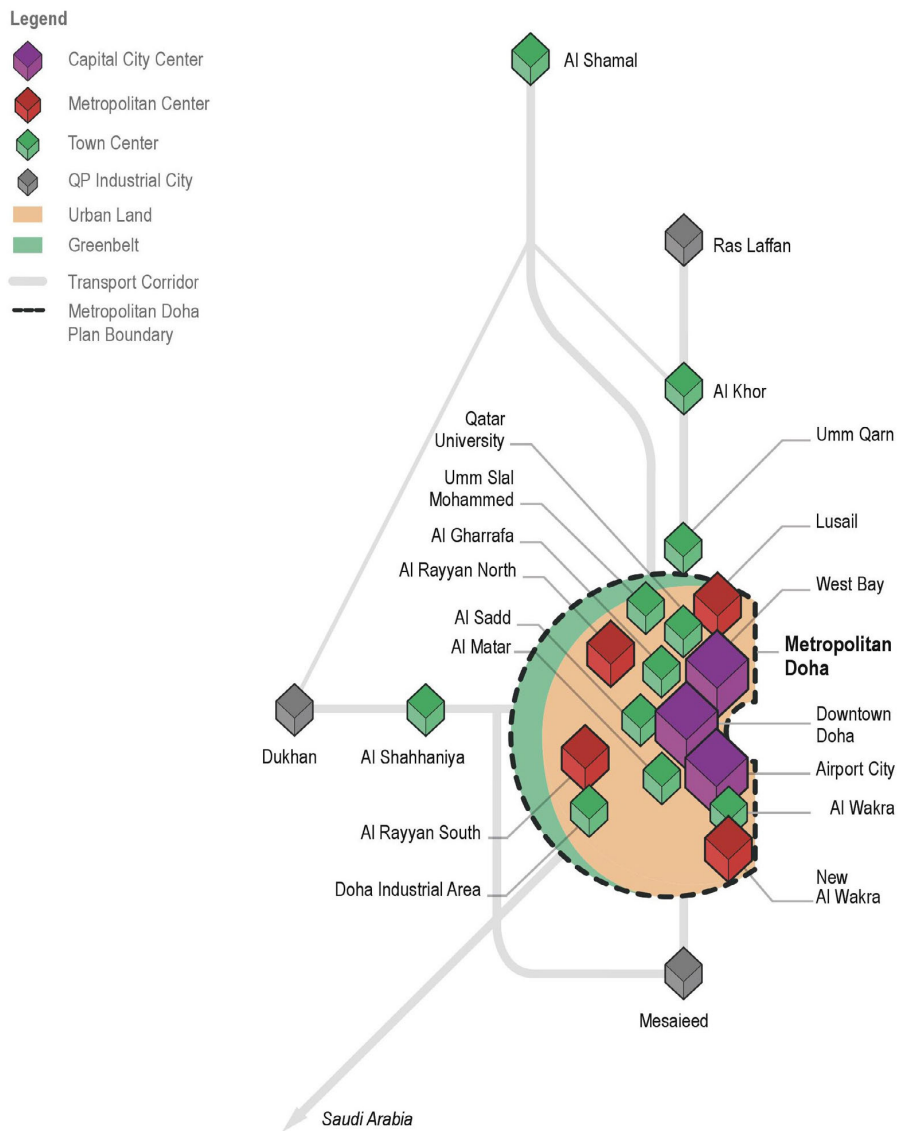
Una pianificazione integrata che leghi dunque lo sviluppo di sistemi di trasporto collettivo, quali Doha Metro e Lusail Tram, al progetto urbano di rigenerazione, trasformazione o futuro sviluppo del territorio, con l'obiettivo di costruire insediamenti compatti di alta densità abitativa realizzati in prossimità di servizi di trasporto pubblico<sup>48</sup> o tali da garantire una percorrenza pedonale o ciclabile dai nodi di interscambio.

In questa prospettiva vanno certamente inquadrati i progetti nazionali di sviluppo urbano e gli interventi sul sistema di trasporto pubblico collettivo attualmente in fase di realizzazione a Doha.

---

47 *Transit Oriented Development* (TOD), quali modelli di sviluppo urbano che perseguono un tessuto compatto e denso promuovendo sistemi di mobilità sostenibile (Calthorpe, 1993. *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*).

48 Fregolent, 2012. *La città a bassa densità: problemi e gestione*.



*Illustrazione 37: La strategia nazionale di sviluppo urbano QNDF al 2032 con l'individuazione e la localizzazione gerarchica dei diversi centri e dei nodi urbani (fonte QNDF – Qatar National Development Framework)*



#### **4.1 Design: il modello dell'*Architectural Branding Manual* di UNstudio**

Il concept design complessivo del *Qatar Integrated Railway Project* - QIRP - è stato realizzato dallo studio olandese UNStudio di Ben Van Berkel e Caroline Bos<sup>49</sup>, estensori delle linee guida alla progettazione per le diverse tipologie di stazioni e inoltre autori dell'*Architectural Branding Manual*<sup>50</sup>; questo manuale è stato redatto con l'intento di delineare e illustrare la *vision* che sottende all'intero progetto della nuova metro di Doha, nonché di definire i principi e gli elementi che andranno a caratterizzare le future stazioni e la nuova rete di trasporto pubblico dell'intera area metropolitana della capitale del Qatar.

La *vision* viene declinata attraverso diversi concetti guida che andranno a caratterizzare le diverse stazioni e le varie linee della nuova rete metropolitana di Doha: identità, adattabilità, modularità e geometria.

L'*Architectural Branding Manual* (ABM) definisce una serie di linee guida per lo sviluppo della progettazione e del design dell'intera rete di trasporto afferente al QIRP, attraverso lo sviluppo di approfonditi dettagli architettonici e indicazioni circa l'utilizzo dei diversi materiali; l'obiettivo del manuale è quello di perseguire un'elevata qualità spaziale in tutte le diverse fasi di sviluppo del complesso progetto infrastrutturale, garantendo una sostanziale coerenza alle diverse scale del progetto e ricercando una sostanziale chiarezza capace di caratterizzare l'intera nuova rete di trasporto pubblico di Doha.

Lo studio di Van Berkel e Bos ben si adatta al processo parametrico del *Building Information Modelling*, consentendo un controllo multiscalare che dal concept delinea il design, indirizza la costruzione e definisce i differenti elementi identitari della rete.

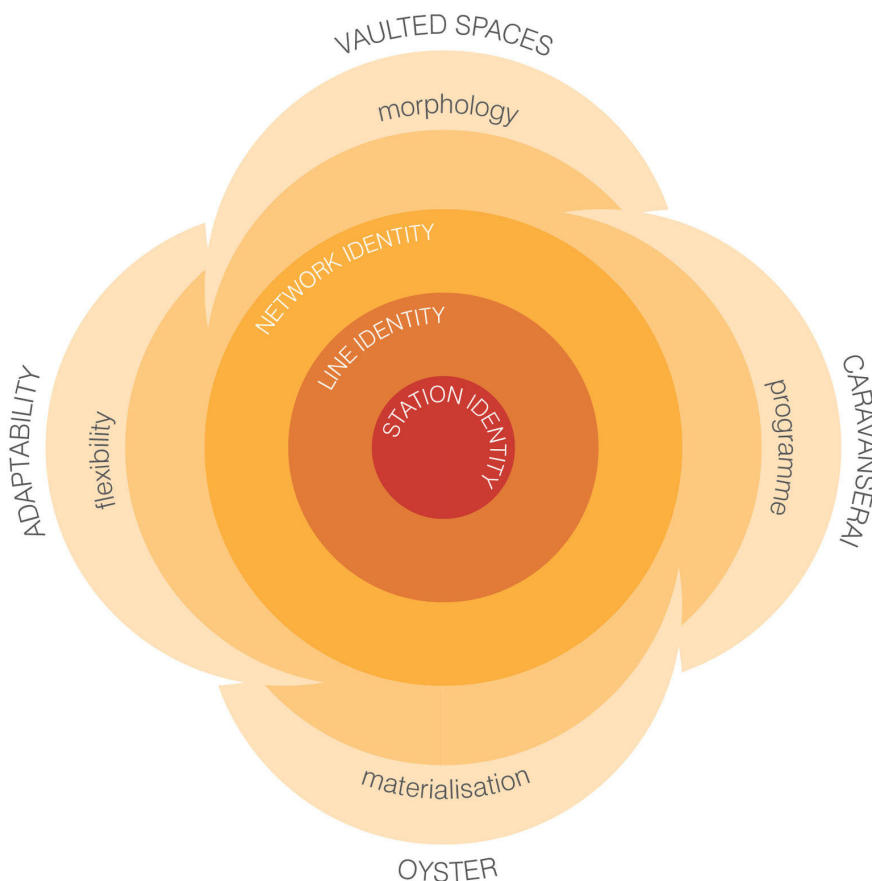
L'*ABM* descrive quindi i quattro principali elementi che dovranno fungere da cardine

---

49 UNStudio – *United Network Studio* – è uno studio internazionale di architettura fondato nel 1988 da Ben Van Berkel e Caroline Bos con sedi principali ad Amsterdam, Hong Kong e Shanghai. Lo studio si occupa principalmente di architettura, design del prodotto, sviluppo urbano e progetti di infrastrutture; tra i numerosi progetti e realizzazioni si ricordano in particolare l'Erasmus Bridge di Rotterdam (1990-1996), il museo Mercedes-Benz di Stoccarda (2001-2006), il masterplan e la stazione ferroviaria di Arnhem Central (1996-2015), il progetto per la riqualificazione di Ponte Parodi a Genova (2001), l'estensione dell'Aeroporto Kutaisi in Georgia (2017) e il già citato Qatar Integrated Railway Project (sviluppato a partire dal 2012).

50 Corposo documento di studio predisposto da UNStudio e consegnato in Versione 1.0 nell'agosto del 2014 a Qatar Rail, come integrazione del precedente studio di fattibilità; il manuale è integrato inoltre da disegni e modelli digitali.

per l'intero progetto e andranno ad indirizzare i vari studi di dettaglio che porteranno alla realizzazione dell'intera rete infrastrutturale: il concetto di spazi voltati, la suggestione perlacea delle ostriche, il modello del caravanserraglio e infine l'adattabilità.



©Qatar Railways Company, designed by UNStudio

Illustrazione 38: I quattro principi alla base dell'Architectural Branding Manual (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

Gli spazi voltati, quale elemento morfologico primario, costituiscono un richiamo all'architettura tradizionale regionale, un riferimento alla storia e alla cultura del paese, dal tipico arco così frequente nell'architettura islamica alla leggerezza delle vele dei *dhow*<sup>51</sup> fino alle geometrie tese delle tende nomadi; allo stesso tempo lo

<sup>51</sup> Barca tradizionale in legno con una o più vele di forma triangolare, largamente diffusa nelle coste della Penisola arabica, dell'India e in Africa orientale. L'imbarcazione veniva utilizzata principalmente per scambi commerciali tra il Golfo Persico e le coste orientali dell'Africa.

spazio voltato immaginato da UNStudio è orientato al futuro, attraverso una costante re-interpretazione carica di innovazione. Ogni stazione diventa in questo modo un tramite culturale, fortemente ancorato alla tradizione, all'interno dell'intera rete metropolitana, ma allo stesso tempo un punto di riferimento locale portatore di innovazione alla scala urbana e al contesto regionale.

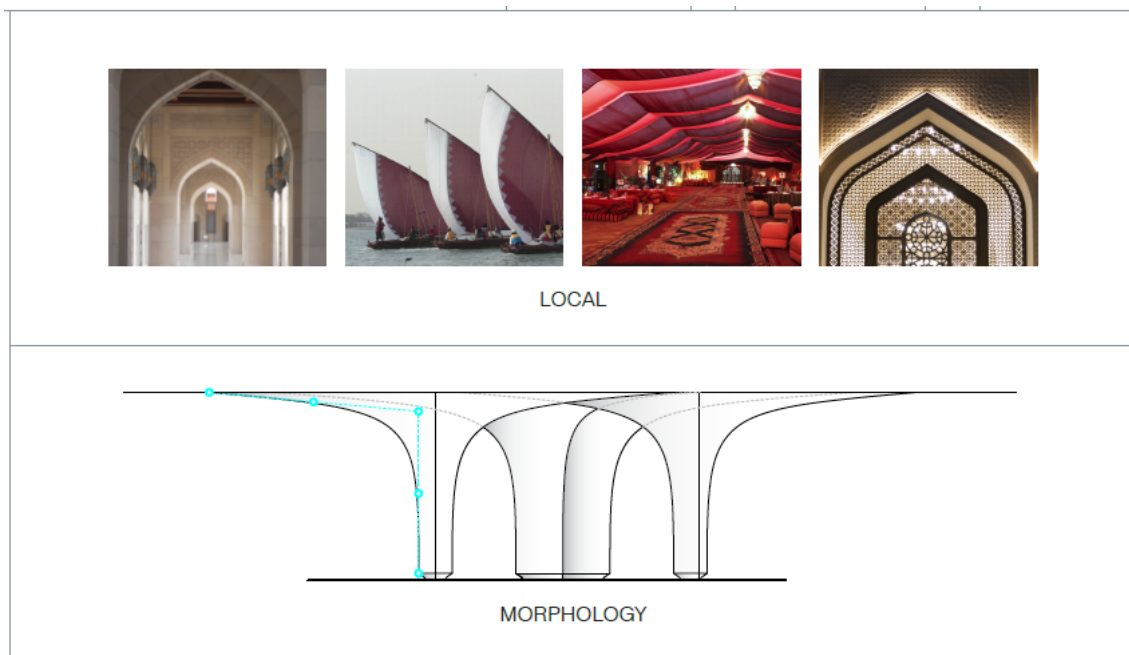
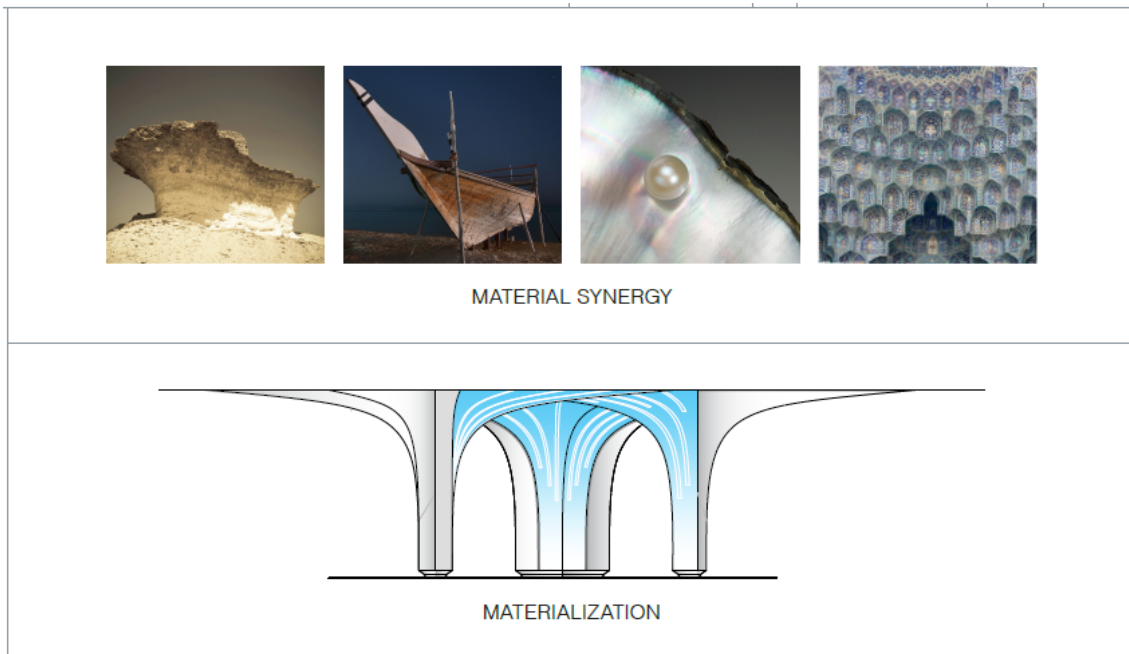


Illustrazione 39: Gli spazi voltati: da elemento legato alle tradizioni locali a carattere morfologico distintivo della nuova metro (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

La suggestione dell'ostrica, quale metafora di una plurima percezione materica, reinterpretandone l'inevitabile dualità tra esterno, discreto e puro, e interno, iridescente e madreperlaceo. La sinergia tra esterno e interno viene in questo caso declinata attraverso riferimenti materici e rimandi geometrici chiari e definiti per la "pelle" esterna, quali i plateau monolitici (ma in continuo divenire) di roccia consumati dal vento di Zekreet<sup>52</sup> e le prue dei *dhow*, mentre per gli interni gli spazi si fanno cangianti e plurimi, espressione di movimento e di fluidità, grazie all'utilizzo di rivestimenti perlacei a definire le volte e di luci lineari a guidare i percorsi e la circolazione degli utenti.

<sup>52</sup> La penisola desertica di Zekreet si trova nella parte nord ovest del Qatar ed è caratterizzata dalla presenza di numerose aggregazioni calcaree erose dai venti. L'artista americano Richard Serra ha scelto questo deserto e i suoi plateau rocciosi per realizzare la nota opera di land art *East-West/West-East*.

Il modello del caravanserraglio, quale riferimento programmatico, luogo ibrido di interazione sociale e dotato di una forte connotazione spaziale. Per gli interni delle stazioni si ricerca dunque una spazialità che non si limiti a garantire il continuo passaggio dato dai flussi dei passeggeri, ma altresì capace inoltre di generare punti notevoli di pausa e raccolta, luoghi attrattori in grado di favorire sinergie proprio quanto gli spazi commerciali della tradizione islamica.



*Illustrazione 40: L'ostrica e la sinergia materica degli spazi interni (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)*

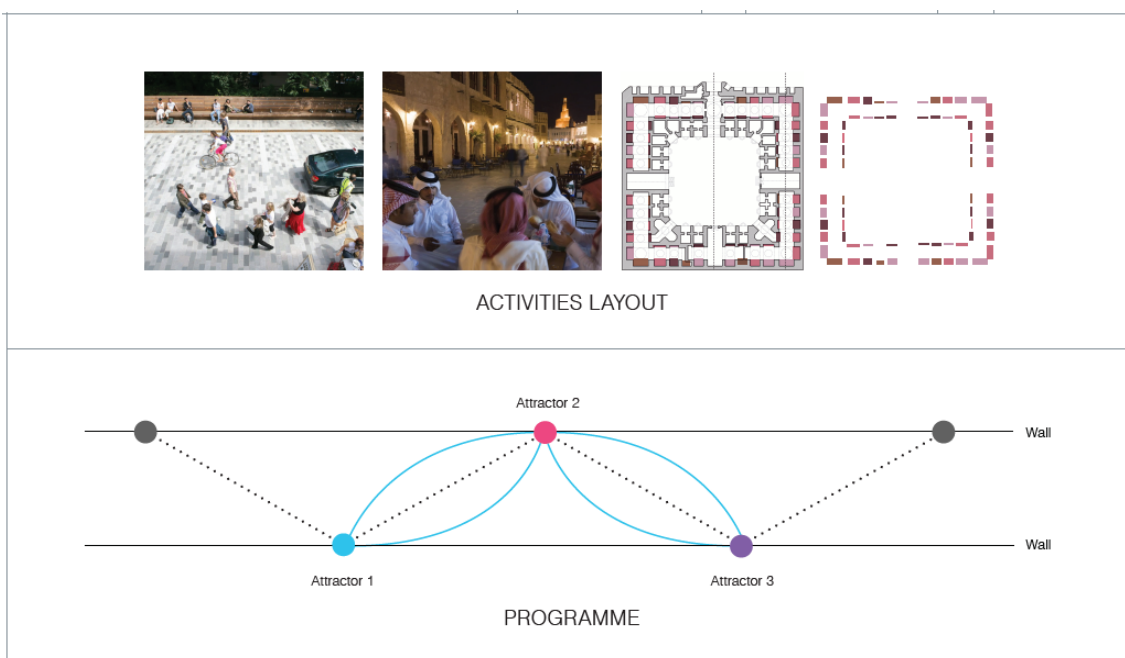


Illustrazione 41: Il caravanserraglio quale riferimento programmatico (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

L'adattabilità, quale primaria possibilità di garantire un'elevata flessibilità, capace di resistere al passare del tempo; un design in grado di connotare quindi lo spazio a partire dalla scala urbana delle stazioni fino a quella di dettaglio degli arredi interni. La flessibilità diventa per UNStudio un obiettivo primario pianificatorio e progettuale per l'intera rete metropolitana, da perseguire e garantire a tutte le diverse scale di intervento. Il concept design elaborato mira a costituire un nuovo sistema architettonico flessibile capace di adattarsi alle sfide scalari imposte dal confrontarsi con l'intera rete metropolitana. Il sistema individuato, a partire da elementi ricorrenti e replicabili, per mezzo di uno schema modulare e gerarchico, arriva a definire i diversi tipi progettuali e le relative interconnessioni per ciascuna stazione.

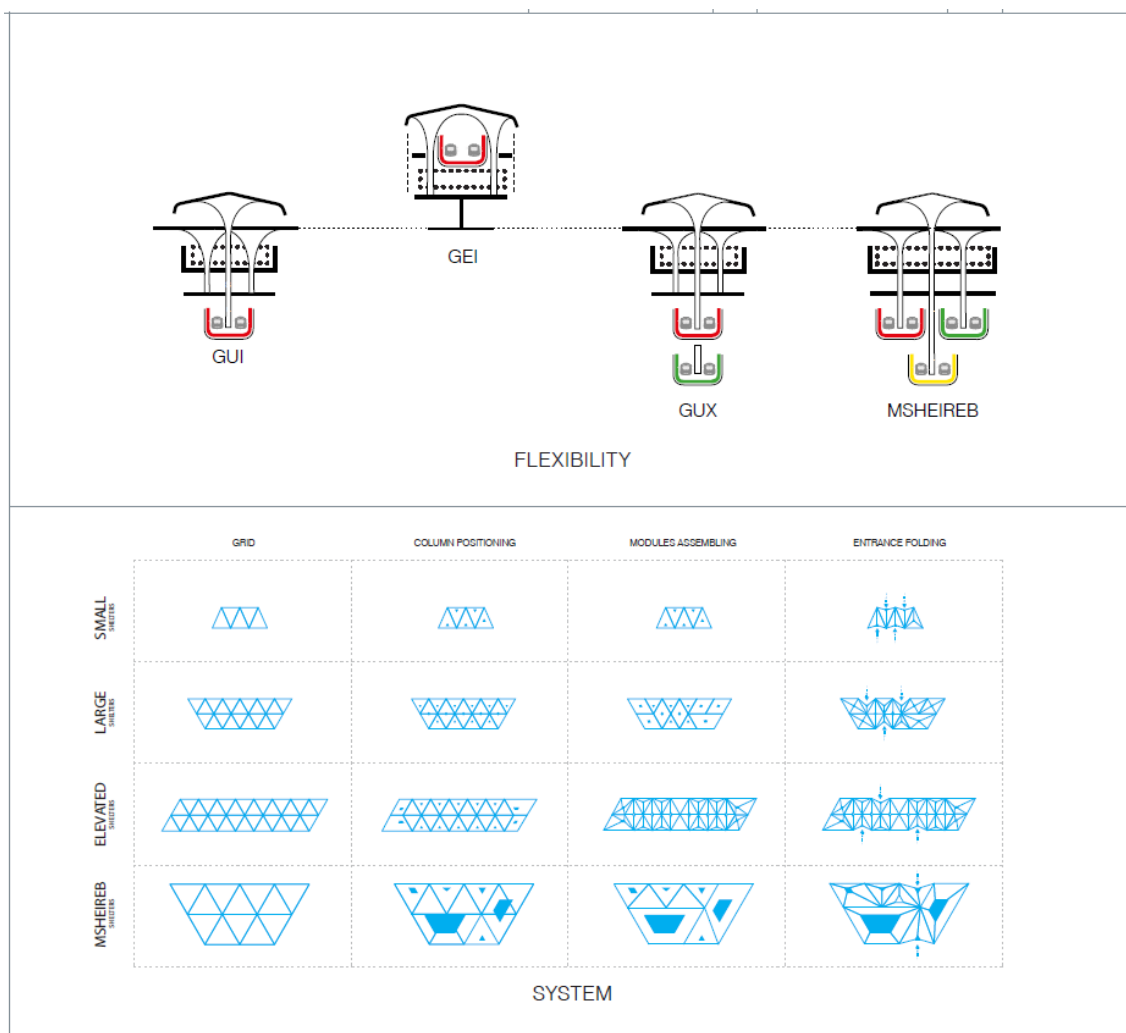


Illustrazione 42: L'adattabilità del sistema grazie alla flessibilità (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

Questi quattro principali elementi richiamati da UNStudio sottendono tutti ai differenti livelli di identità, attraverso il già citato processo multiscalare, di rete, linea e stazione.

L'approccio multiscalare delineato da UNStudio mira a connotare l'intero progetto infrastrutturale attraverso un forte carattere identitario, altamente riconoscibile e indubbiamente ancorato alla tradizione locale.

*"The celebration of arriving and departing has always been found in the design of stations. For the Qatar Integrated Railway Project, a system was designed that creates open, light and welcoming interiors for each individual station"* (Ben Van

Berkel a proposito del progetto elaborato per Qatar Rail)<sup>53</sup>.

L'*Architectural Branding Manual* individua quindi, all'interno di questo processo multiscalare, tre livelli identitari corrispondenti ad altrettante categorie: l'identità della rete che si manifesta attraverso il brand, l'identità della linea perseguibile attraverso una specifica atmosfera e l'identità della stazione strettamente correlata ad aspetti culturali e locali.

L'identità della rete sarà garantito dall'utilizzo di elementi architettonici ricorrenti e declinati alle diverse situazioni progettuali che caratterizzeranno i vari contesti urbani su cui le stazioni si insedieranno (stazioni a ponte, sopraelevate, a livello della strada, sotterranee, etc.), perseguendo al contempo un'architettura coerente e fortemente riconoscibile, definendo il brand dell'intero progetto.

L'identità della linea sarà perseguita tramite specifiche atmosfere differenti individuate per ciascuna tratta: *Historic theme*<sup>54</sup> (linea oro) in riferimento alla ricchezza dell'arte islamica; *Coastal theme*<sup>55</sup> (linea rossa) con rimandi ai commerci marittimi, alla pesca delle perle e alla costruzione di navi; *Education theme*<sup>56</sup> (linea verde) correlata agli sviluppi della scienza e della cultura nel mondo islamico; *City theme*<sup>57</sup> (linea blu) come riferimento al prospero sviluppo futuro del paese. I quattro temi vengono declinati in ciascuna linea attraverso l'utilizzo di finiture e l'impiego di materiali che contribuiscano a definirne la relativa corrispondenza.

L'identità della stazione sarà rimarcata da elementi peculiari mostrati in punti

---

53 Fonte UNStudio.

54 La *Gold (Historic) Line* avrà uno sviluppo est-ovest per circa 14 chilometri ed attraverserà il centro urbano di Doha con 11 stazioni, partendo da Ras Bu Aboud ad est per giungere ad Al Aziziya ad ovest, connettendo alcuni tra i principali siti di interesse di questa area quali il National Museum, il Souq Waqif e la stazione centrale di Msheireb quale nodo principale di interscambio dell'intera rete metropolitana (linee Gold, Red e Green).

55 La *Red (Coastal) Line* avrà un'estensione di circa 40 chilometri e si svilupperà lungo la linea di costa con 18 stazioni, a partire da Al Wakra a sud per giungere a Lusail a nord; questa linea permetterà il collegamento diretto tra l'Aeroporto Internazionale Hamad Terminal 1 e il centro città.

56 La *Green (Education) Line* avrà un'estensione di circa 22 chilometri e si svilupperà tra il centro urbano della città con la stazione di Al Mansoura ad est fino ad Al Riffa ad ovest con 11 stazioni, dopo aver attraversato Education City, zona in cui sono insediati diversi campus universitari, istituti di ricerca e poli legati all'innovazione.

57 La *Blue (City) Line* farà parte della seconda fase di sviluppo della metro di Doha (fase che prevede la realizzazione di ulteriori 60 stazioni, tra Blue Line ed estensione di quelle già operative, e il cui completamento è previsto entro il 2026). La linea blu avrà 14 stazioni e collegherà il centro urbano di Doha attraverso un percorso semicircolare, da Funduq Park all'Aeroporto Internazionale Hamad Terminal 2, con diverse stazioni di interscambio con le linee già completate (linee Gold, Red e Green).

strategici (*focal point*) in modo da creare riferimenti e rimandi al contesto locale, dotando ciascuna stazione di una sua definita atmosfera e di una chiara riconoscibilità rispetto alla rete di appartenenza.



*Illustrazione 43: Il processo multiscale garantito attraverso i tre livelli di identità: identità della rete, identità della linea e identità della stazione (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)*






L'elemento architettonico individuato come brand dell'intera rete infrastrutturale è la volta, paradigma arcuato di leggerezza e diretta evocazione delle tende delle popolazioni nomadi, nonché diretta interpretazione contemporanea di modelli geometrici di tradizione araba. La volta è declinata, secondo il caratteristico approccio multiscale definito da UNStudio, quale elemento morfologico



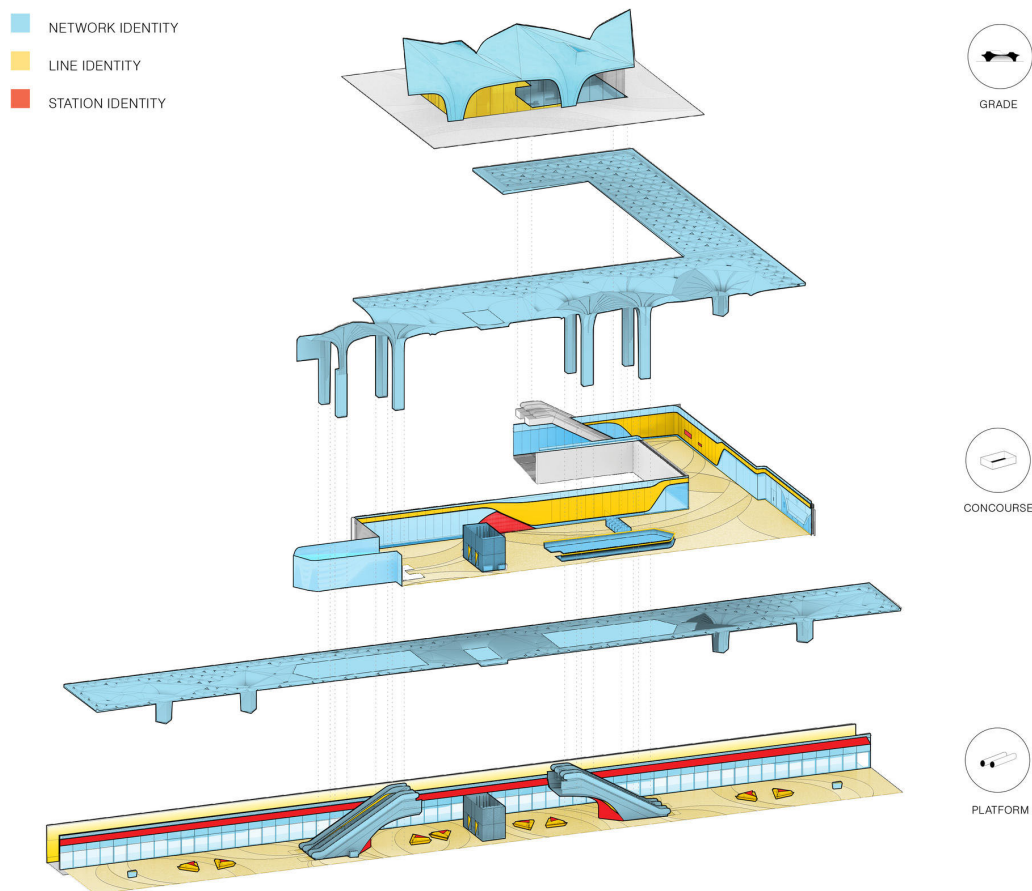
caratteristico delle coperture esterne delle stazioni, gli *shelter*<sup>58</sup>; questi si caratterizzano come sequenza di diversi moduli base di forma triangolare, aggregabili in plurime configurazioni e capaci di generare forme geometriche complesse, in grado di definire e rappresentare il brand alla scala urbana. Allo stesso modo gli interni delle stazioni sono caratterizzati da suggestivi ambienti voltati, sempre inediti per conformazione geometrica, cangianti per l'accostamento e l'uso di materiali distinti e per l'impiego di luci lineari, declinabili alle diverse situazioni e contesti in quanto elementi geometrici modulari, replicabili e riconfigurabili in base ai differenti usi (*column vault, double high vault, downlight, escalator vault, etc.*).

---

58 *Shelter* quale elemento morfologico primigenio di protezione e accoglienza, declinato da UNStudio per il *Qatar Integrated Railway Project* in numerose varianti modulari incrementali e aggregabili a partire dalla geometria base del triangolo.

EXTERIOR	INTERIOR	GLAZING
<p data-bbox="248 344 360 360">ALL SHELTERS</p>  <p data-bbox="655 734 748 757">GFRC / GRP</p>	<p data-bbox="788 344 852 360">CEILING</p>  <p data-bbox="895 808 1007 831">acoustic plaster</p>	 <p data-bbox="1134 808 1347 831">low iron glass, with frit pattern</p>
<p data-bbox="248 777 384 792">SPECIAL SHELTER</p>  <p data-bbox="679 1240 748 1263">limestone</p>	 <p data-bbox="986 1240 1347 1263">ceramic tiles, with pearlescent oyster effect glazing</p>	

*Illustrazione 44: Identità della rete attraverso la riconoscibilità e la ripetitività di materiali ed elementi (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)*



Zones of architectural branding

©Qatar Railways Company, designed by UNStudio

*Illustrazione 45: I tre livelli di identità si disvelano attraverso l'esperienza spaziale (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)*

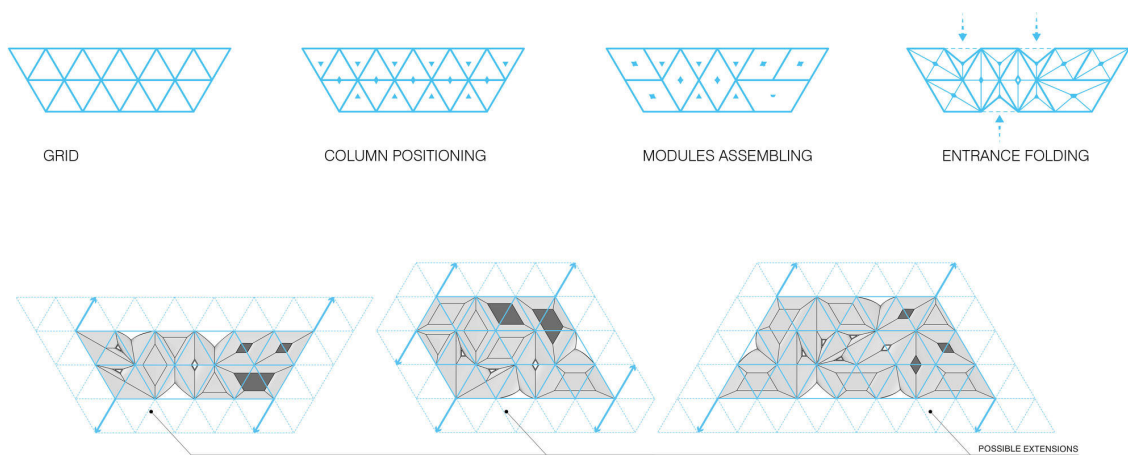
Il concept immaginato da UNStudio si prefigge l'obiettivo di perseguire la massima adattabilità del sistema nelle varie configurazioni di progetto. Questa può essere garantita attraverso un'elevata flessibilità alle diverse scale del progetto, da quella territoriale della grande rete infrastrutturale a quella urbana delle stazioni, per determinare le conformazioni più idonee attraverso il già citato approccio multiscalare<sup>59</sup>. L'ampio abaco di elementi architettonici e di dettagli costruttivi mira a definire un sistema flessibile e parametrico, riconoscibile e adattabile, capace quindi di essere declinato in tutte le possibili configurazioni.

<sup>59</sup> Caroline Bos, fondatrice di UNStudio, afferma "the realization of a contemporary space of flows thus necessitates a policy-aware, flexible, spatially-technical innovative, networked approach" nel suo intervento "Next City, next Stop: Doha" in occasione del congresso internazionale "CAAD Futures – The Next City" tenutosi a San Paolo in Brasile nel 2015.

	NETWORK BASE IDENTITY	COASTAL LINE	EDUCATION LINE	HISTORIC LINE	CITY LINE
IDENTIFIER					
FLOOR					
WALL					
INSPIRATION					

Illustrazione 46: Identità della linea e differenti atmosfere individuate (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

Il modulo triangolare di base, utilizzato come elemento primario della griglia strutturale, grazie a progressive aggregazioni, giustapposizioni, annessioni e riconfigurazioni consente di ipotizzare infinite possibilità. Questo sistema, definito e descritto nell'*Architectural Branding Manual*, risulta quindi adattabile alle diverse scale previste per gli *shelter*, dalla piccola copertura configurabile tramite l'accostamento da 3 a 5 moduli di base (*small shelter*) a quella più complessa ottenibile grazie all'aggregazione di 20 moduli di base (*large shelter*), dai 32 moduli di base individuati per le stazioni sopraelevate (*elevated shelter*) ai 48 moduli di base (di fatto 12 moduli di dimensione doppia rispetto all'elemento primario) della stazione centrale di Msheireb (una delle due *Major Stations* assieme a Education City).



©Qatar Railways Company, designed by UNStudio

Illustrazione 47: L'utilizzo della griglia modulare per diverse aggregazioni spaziali (fonte Qatar Rail, ABM UNStudio)

Il processo multiscalare proposto e descritto da UNStudio risulta particolarmente evidente declinando le tre diverse scale di identità (network, linea e stazione) ai diversi elementi architettonici primari individuati nell'ABM: *shelters*, controsoffitti, muri, pavimenti, layout funzionale, attrezzature (quali scale mobili, ascensori, etc.), *wayfinding*<sup>60</sup> e arredi. Questi elementi architettonici primari possono essere a loro volta analizzati attraverso la loro geometria, i materiali, i colori, la modularità, il dettaglio e non ultimo il contenuto. Di fatto, per mezzo di questa matrice, si evince come alcuni di questi elementi architettonici vengano definiti alla sola scala di identità della rete e siano dunque una sorta di costante invariabile nell'intero sistema: *shelters*, controsoffitti, layout e *wayfinding* assumono quindi una connotazione geometrica, materica, modulare e di dettaglio determinati. I pavimenti altresì hanno una chiara definizione geometrica e modulare alla scala d'identità della rete, tuttavia un grado di variabilità determinato da materiali, colori e dettagli differentemente declinabili alla scala di identità di ciascuna linea. Allo stesso modo i muri, le attrezzature e gli arredi appaiono come gli unici elementi architettonici

<sup>60</sup> Il termine *wayfinding* viene introdotto negli anni '60 da Kevin Lynch nel volume "L'immagine della città" (pubblicato negli Stati Uniti per MIT Press nel 1960 e in Italia per Marsilio nel 1969), in cui lo definisce "a consistent use and organization of definite sensory cues from the external environment". Qui si vuole intendere l'insieme dato da segnaletica informativa, di intrattenimento e di emergenza per orientare flussi e passeggeri.



variabili alle tre differenti scale di identità, per via di colori e materiali differenti per ciascuna linea e di contenuti diversi in ogni stazione, mentre aspetti quali la definizione geometrica e la modularità appaiono come delle invariabili definite precedentemente a livello di network.



COASTAL



HISTORIC



EDUCATION



CITY

*Illustrazione 48: Il rivestimento parietale declinato secondo le quattro differenti atmosfere individuate per ciascuna linea (identità della linea)*



COASTAL



HISTORIC



EDUCATION



CITY

*Illustrazione 49: Differenti declinazioni del Concourse level per le quattro linee, ciascuna caratterizzata da una specifica atmosfera (identità della linea)*

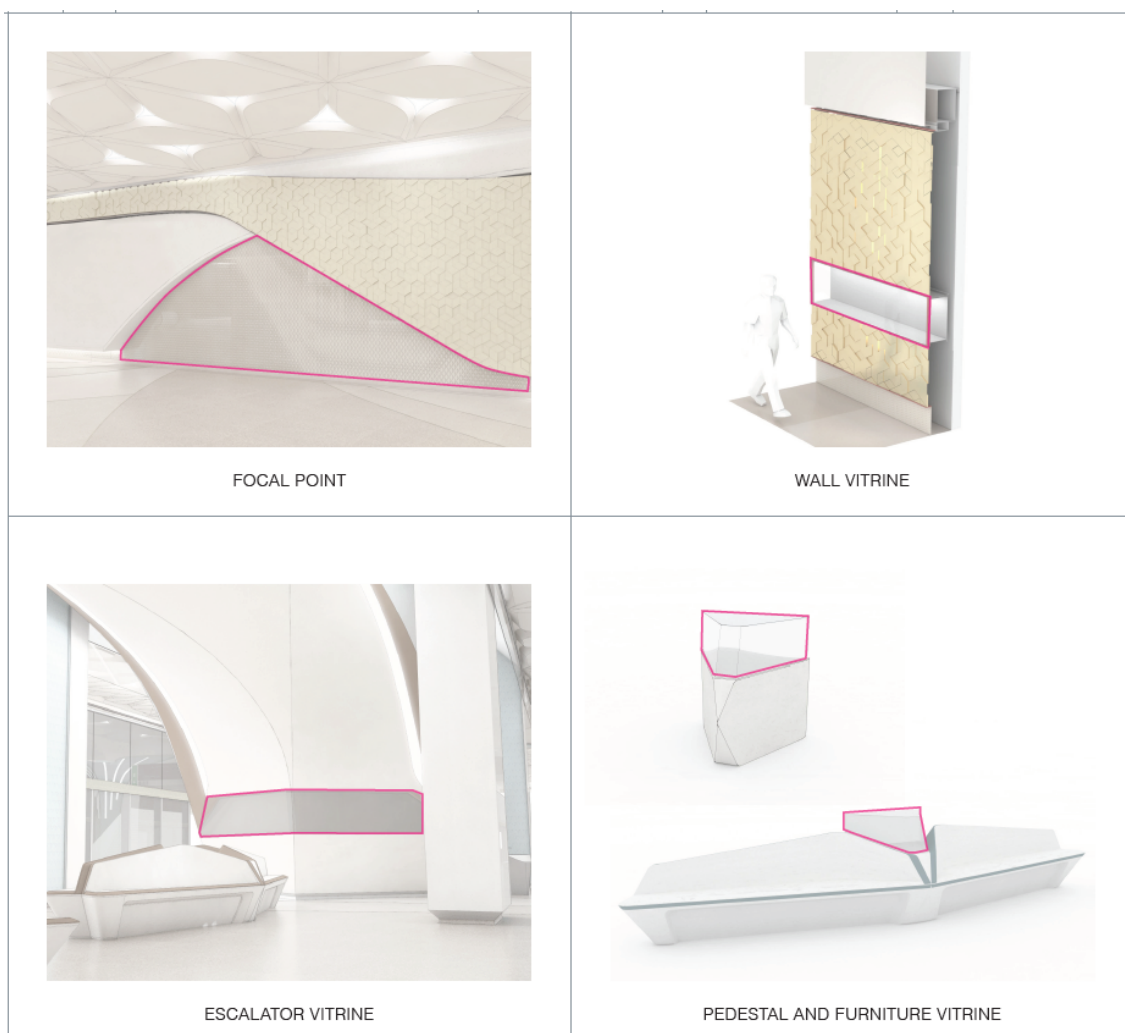


Illustrazione 50: Elementi di progetto quali espressione dell'identità di ciascuna stazione

L'*ABM*, come già detto, fornisce una serie di linee guida redatte con lo scopo di definire e facilitare l'applicazione del concept design elaborato da UNStudio per i successivi processi di progettazione e di costruzione di tutte le stazioni della nuova rete metropolitana.

Lo studio è costituito da tre presupposti utili a definire la struttura del manuale nel suo complesso: i principi di base del brand prescelto (forma e geometria, modularità e flessibilità, materiali e pattern, pianificazione e messa in esercizio), le differenti scale di identità (rete, linea, stazione) e le condizioni locali (adattamento alla scala urbana, paesaggio urbano, contesto culturale). Il manuale è infine composto da otto capitoli, per ciascuno dei cosiddetti *branding elements*, quali abachi dei diversi elementi primari e delle diverse soluzioni architettoniche da declinare nei progetti



delle stazioni: *shelters*, controsoffitti, muri, pavimenti, layout funzionale, attrezzature, *wayfinding* e arredi.

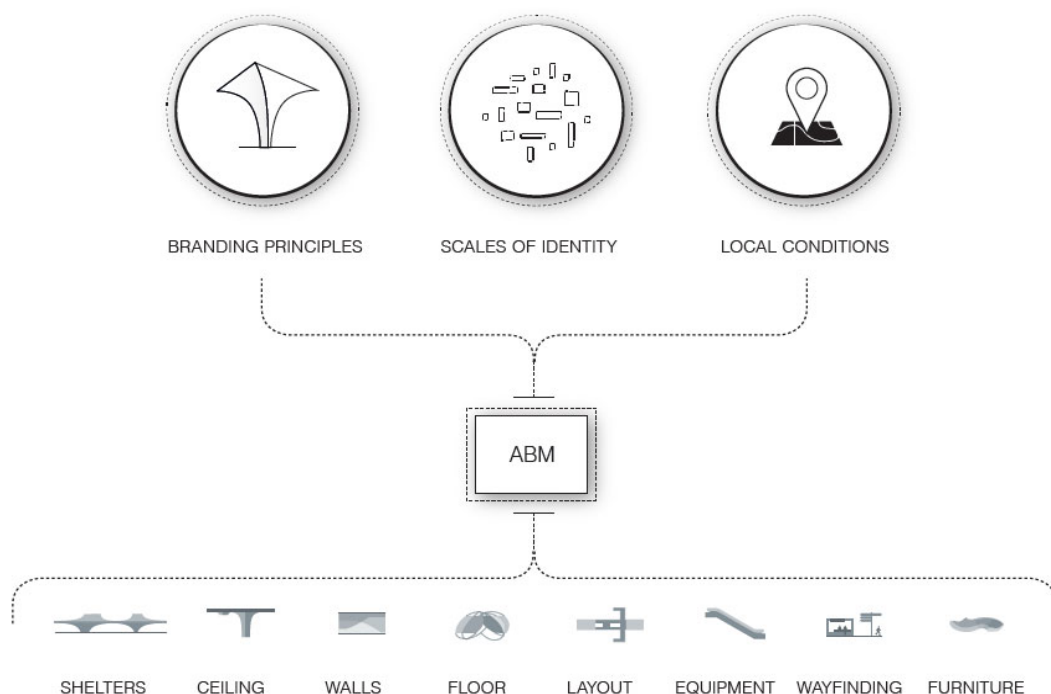


Illustrazione 51: Struttura dell'Architectural Branding Manual: principi di base ed elementi architettonici

L'intento primario dell'*Architectural Branding Manual* è dunque quello di consentire l'applicazione e la salvaguardia dei principi individuati quali necessari e imprescindibili per il futuro sviluppo del brand sull'intera nuova rete della metropolitana, lungo il complesso processo pianificatorio, progettuale e costruttivo che caratterizzerà la realizzazione di tutte le stazioni della rete.

Lo strumento dell'*ABM* è quindi concepito per poter facilmente trasmettere l'approccio individuato da UNStudio e poterlo applicare alle diverse situazioni locali, attraverso tutti i diversi attori che ne saranno i principali fruitori, a partire da chi si occuperà dello sviluppo progettuale e di design fino a chi seguirà il successivo processo costruttivo dell'intera rete.

La diversità e la complessità dello sviluppo progettuale delle numerose tipologie di stazioni presenti nella rete potrà essere assicurato attraverso il riferimento a diversi strumenti forniti: lo stesso *Architectural Branding Manual*, i dettagli sviluppati per i

vari elementi architettonici alla base del brand, una serie di disegni specifici per le diverse tipologie di stazioni individuate quali modelli e dei modelli 3d. Questi ultimi raggruppati all'interno di famiglie, in modo da creare elementi standardizzati che potranno essere condivisi e replicati, dove possibile, nelle diverse stazioni della rete attraverso opportuni adattamenti alle specifiche situazioni. Le tipologie di stazioni individuate per lo sviluppo della rete sono esemplificate in quattro principali modelli: stazioni sotterranee in linea (GUI)<sup>61</sup>, stazioni sopraelevate in linea (GEI)<sup>62</sup>, stazioni sotterranee di interscambio (GUX)<sup>63</sup>, stazione speciale di Msheireb (SA)<sup>64</sup>.

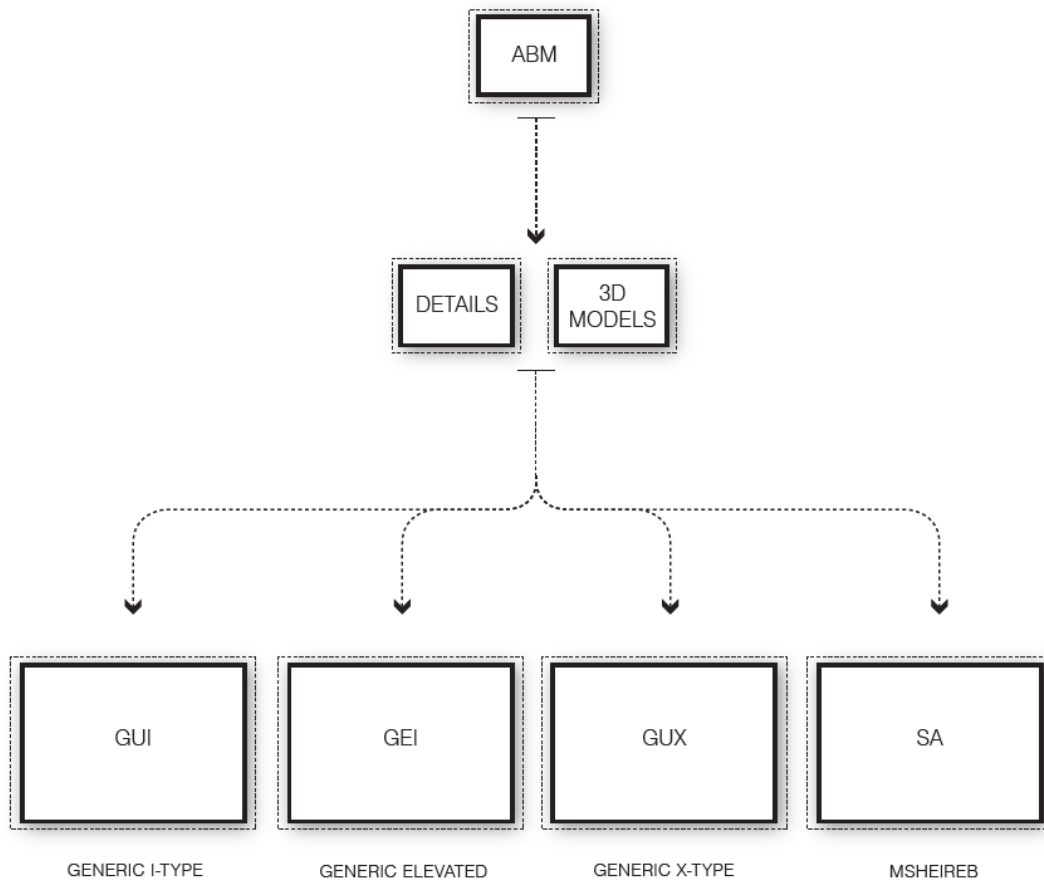
---

61 La tipologia GUI *Generic Underground I-type* è il modello base di stazione sotterranea in linea, costituita da due livelli *underground – Platform* e *Concourse* – e il cui accesso avviene tramite uno o più shelter posti a livello strada – *Grade level*.

62 La tipologia GEI *Generic Elevated I-type* è il modello base di stazione sopraelevata, costituita da un *Concourse* al primo livello e da un livello *Platform* superiore.

63 La tipologia GUX *Generic Underground X-type* è il modello aggregativo base di stazione sotterranea di interscambio tra due diverse linee, costituita da tre livelli *underground – due Platform* sovrapposti e *Concourse* – e il cui accesso avviene tramite uno o più shelter posti a livello strada – *Grade level*.

64 La tipologia SA *Special Entrance Shelter* è lo schema di base per la stazione principale dell'intera rete metropolitana di Msheireb, nodo di interscambio tra tre diverse linee, costituita da quattro livelli *underground – due Platform* sovrapposti, *Councourse* e *Mezzanine* – e il cui accesso avviene tramite lo shelter principale e altri shelter minori posti a livello strada – *Grade level*.



*Illustrazione 52: L'applicazione dell'Architectural Branding Manual nello sviluppo progettuale e costruttivo delle diverse tipologie di stazioni individuate*



*Illustrazione 53: Rendering della tipologia di stazione GEI Elevated con accesso dal livello della strada e tramite un ponte sospeso (sovrappasso pedonale) con accesso dal lato opposto della viabilità carrabile; queste stazioni sono situate in zone più marginali rispetto al centro urbano laddove i treni corrono dapprima in superficie e poi su strutture sopraelevate (fonte web UNStudio)*



*Illustrazione 54: Rendering interno della stazione principale di Msheireb: gli ingressi sono posti al livello strada del Grade, da qui si scende verso il Mezzanine e il Concourse, al di sotto del quale si trovano due livelli Platform di accesso ai treni (fonte web UNStudio)*

L'ABM fornisce le linee guida per l'applicazione degli otto *branding elements*<sup>65</sup> individuati, elementi architettonici primari alla base delle variegate soluzioni progettuali da declinare nelle diverse tipologie di stazioni.

Gli shelter delle stazioni, come già detto, sono concepiti come dei sistemi modulari basati sulla figura geometrica del triangolo. Nel manuale vengono individuati ad esempio tre moduli standard di base per gli shelter più piccoli delle stazioni minori, questi sono costituiti a loro volta da sei differenti componenti (in base a funzione e a posizione della colonna strutturale) e da ulteriori due moduli speciali di forma romboidale. Tutti questi elementi possono essere progressivamente aggregati così da costituire una combinazione più complessa a partire dai moduli di base utilizzati.

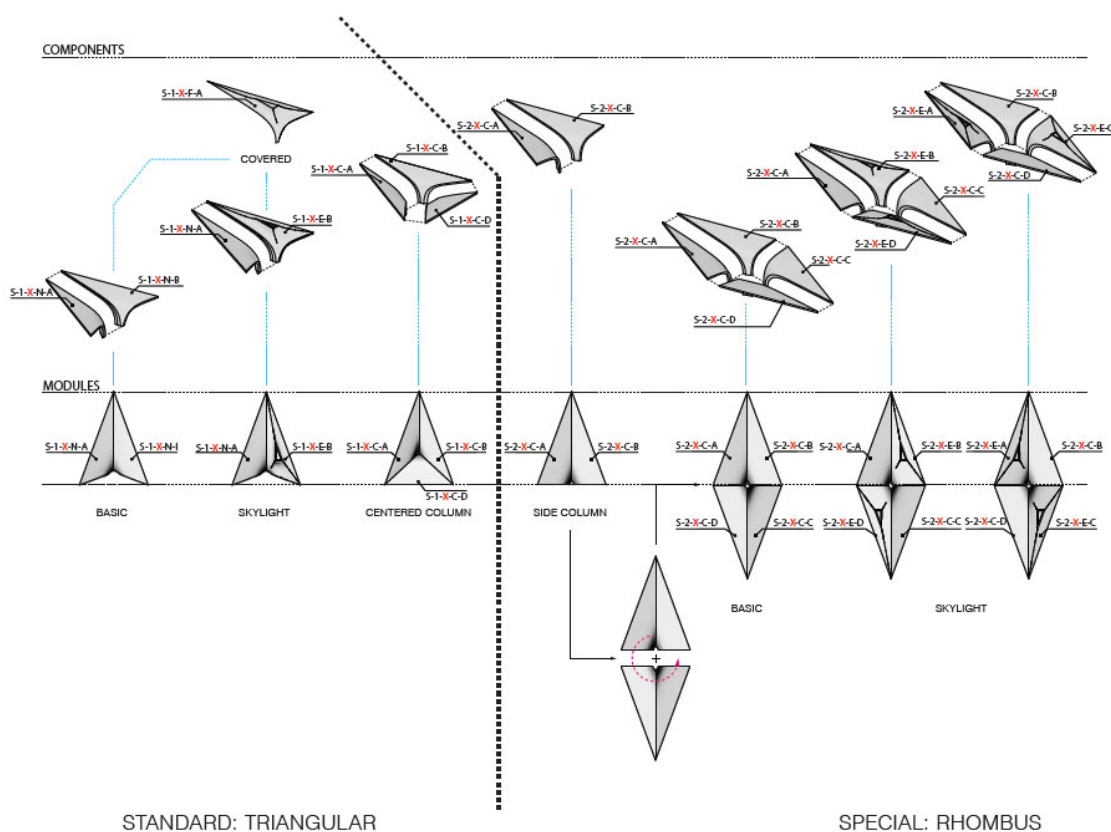


Illustrazione 55: Il sistema modulare basato sulla figura geometrica del triangolo e alcune possibili aggregazioni

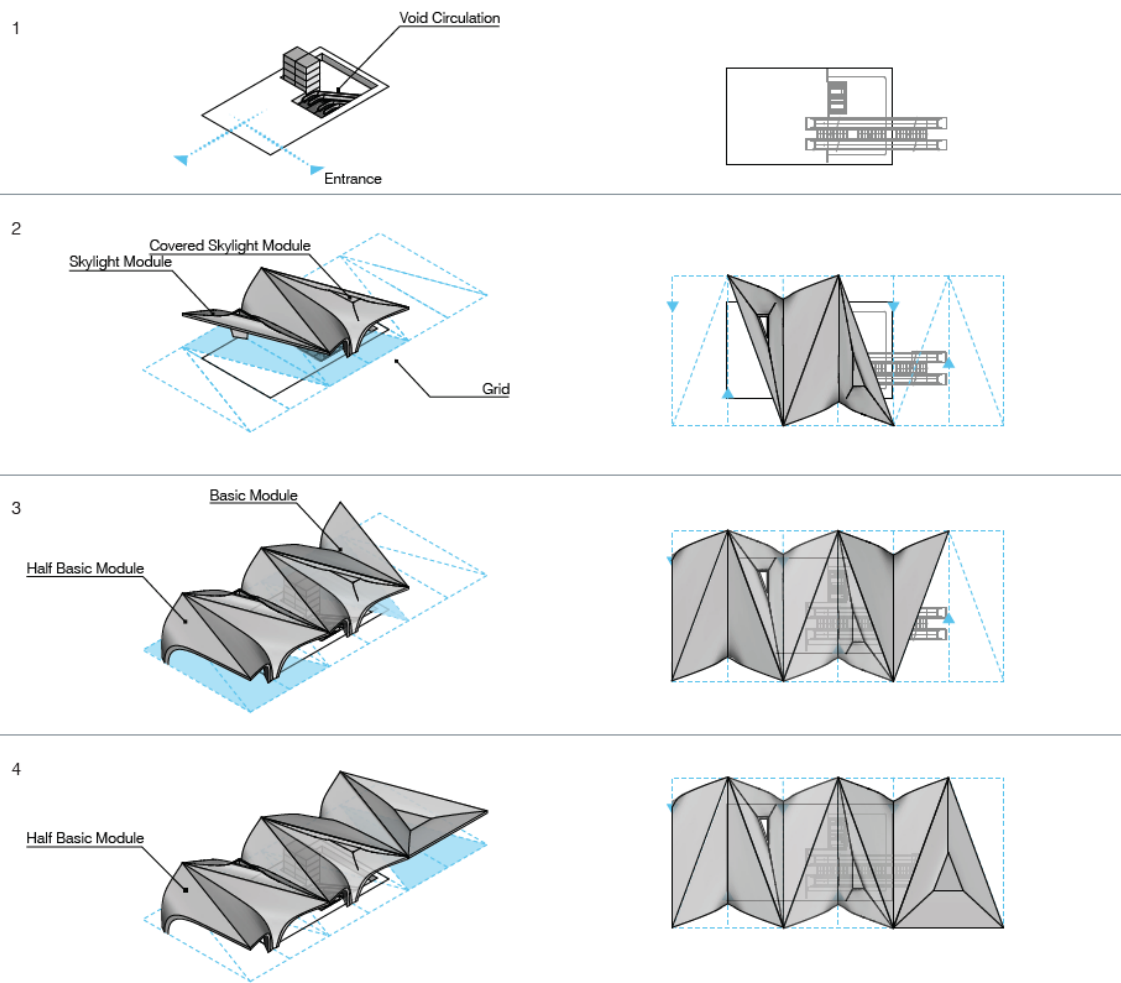
65 I *branding elements* individuati da UNStudio sono gli shelter, *ceiling* (controsoffitto), *wall* (muro), *floor* (pavimento), *layout funzionale*, *equipment* (attrezzature), *wayfinding* e *furniture* (arredi).

Gli shelter rappresentano l'identità della rete nel contesto di riferimento su cui sono localizzati, elementi architettonici riconoscibili e identificabili fin dalla scala urbana, nonché punti di accesso e luoghi di smistamento dei flussi di passeggeri all'interno della rete metropolitana. Il disegno architettonico richiama l'immagine delle tende in tessuto utilizzate dalle popolazioni nomadi dei beduini, trasponendo questo archetipo nella contemporaneità attraverso forme modulari e materiali definiti.

Gli shelter più piccoli fungono generalmente quali punti di accesso ai sottopassaggi di collegamento con la stazione e rappresentano di fatto l'elemento base dell'intero sistema; il rivestimento esterno è in GRC<sup>66</sup>, con gradazioni di colore che richiamano le pietre naturali quali il travertino o la pietra arenaria locale, la transizione tra interno ed esterno è regolata da pareti vetrate continue mentre lo spazio interno è costituito da una zona di ingresso, su cui un lucernario permette l'illuminazione naturale diretta, e da un vuoto su cui si innestano i sistemi di collegamento verticali (scale, scale mobili e ascensori); questo vuoto è caratterizzato dal rivestimento delle volte interne realizzato con piastrelle ceramiche esagonali di colore celeste con effetto perlaceo e dotate di una texture tridimensionale realizzata ad hoc. Su queste volte interne si inseriscono anche i corpi illuminanti lineari ad enfatizzare i luoghi di transizione e i percorsi interni di collegamento tra i vari livelli.

---

<sup>66</sup> GRC o GRFC (*Glassfibre Reinforced Concrete*), noto anche come pietra artificiale, è un cemento fibrorinforzato ottenuto utilizzando cemento, inerti silicei di granulometria variabile e fibra di vetro.



*Illustrazione 56: Strategia compositiva di aggregazione tra diversi moduli per la costituzione degli shelter minori di accesso*

Gli shelter più grandi fungono da punti di accesso diretto alla stazione a al sottostante livello *Concourse*, spazio primario di connessione e di interscambio tra le diverse funzioni ospitate all'interno della stazione e tra i vari livelli.

La pianta schematica delle diverse funzioni si fa ora più complessa ed è suddivisa in aree specifiche, quali aree aperte al pubblico come le zone di ingresso, il vuoto destinato alla circolazione e al collegamento con i livelli sottostanti, aree di sosta, il vuoto che permette l'osservazione e la percezione della complessità spaziale data dai diversi livelli della stazione, e altre aree tecniche interdette al pubblico come quelle destinate agli impianti tecnologici (MEP<sup>67</sup>) accessibili direttamente dall'esterno della stazione.

---

<sup>67</sup> L'acronimo MEP sta per *Mechanical, Electrical e Plumbing*, ricomprendendo gli aspetti ingegneristici legati agli impianti tecnici meccanici, elettrici e idraulici.



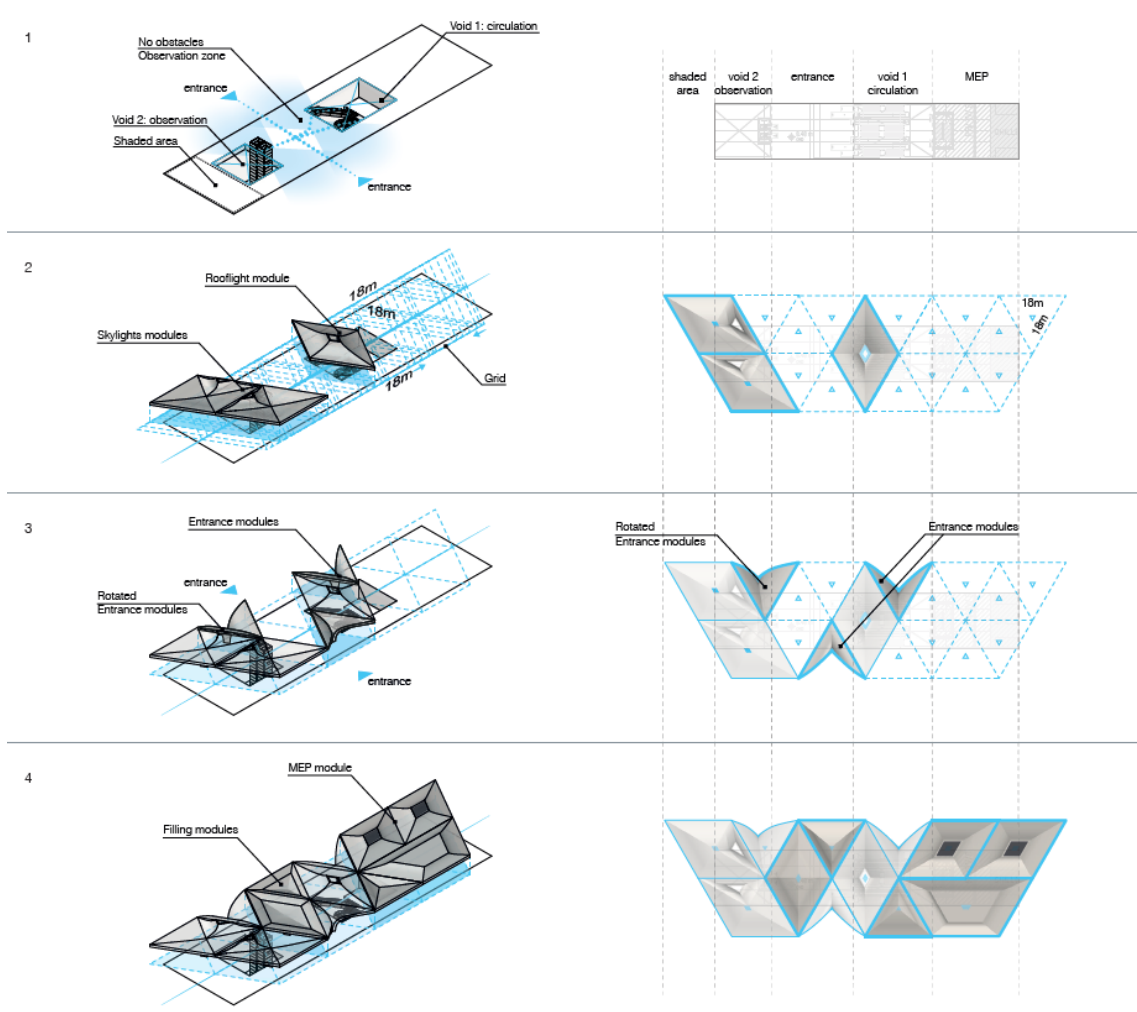


Illustrazione 57: Strategia compositiva di aggregazione tra diversi moduli per la costituzione degli shelter di accesso (modello di Large Entrance Shelter utilizzato come base per la stazione di Education City)

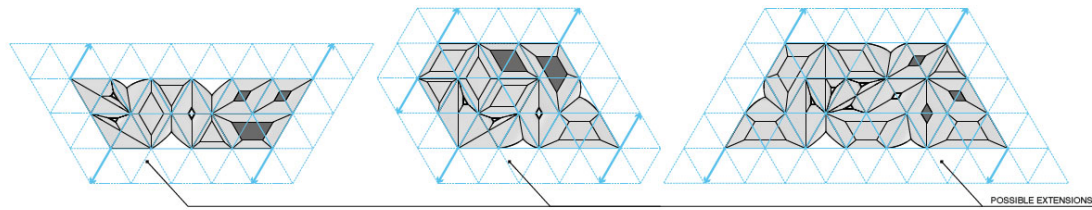


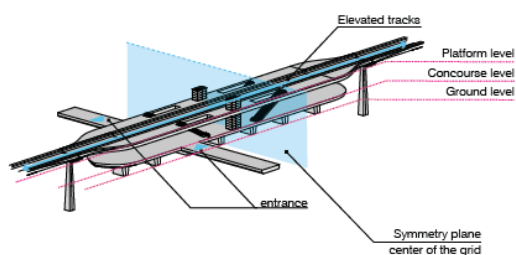
Illustrazione 58: Schemi di espansione futura partendo dal sistema modulare e dalle possibili aggregazioni

Gli shelter, anche nelle aggregazioni più importanti, sono sempre concepiti da UNStudio come strutture modulari espandibili e riconfigurabili, attraverso successive aggregazioni modulari possono quindi rispondere a nuove necessità e bisogni.

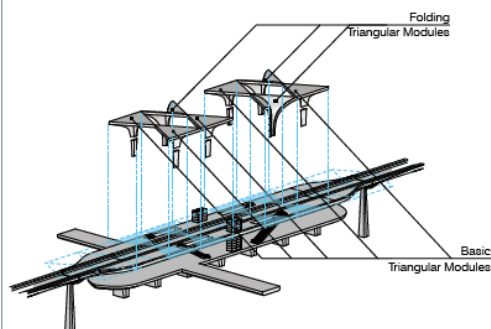
Le stazioni in quota (*Elevated*) sono costituite principalmente da uno shelter sopraelevato e dalla struttura su piloni dei binari e delle banchine che sono poste, in questa tipologia di stazione, al secondo livello, al di sopra del primo livello occupato dal *Concourse*. Il livello *Concourse* è a sua volta collegato al suolo tramite connessioni verticali dirette e tramite un sovrappasso pedonale, in grado quindi di superare le principali arterie carrabili circostanti e fornire un accesso diretto, dedicato e protetto alla stazione. La struttura principale dello shelter è costituita da moduli triangolari di base aggregati tra loro su cui si innestano moduli romboidali in sequenza, per terminare con dei moduli laterali a sbalzo per conferire leggerezza e dinamicità all'intero volume della stazione. I locali tecnici destinati agli impianti tecnologici sono qui situati alle due estremità opposte del livello *Concourse*, schermati da un rivestimento opaco a texture con motivi geometrici esagonali.

L'accesso al sovrappasso pedonale di collegamento con la stazione sopraelevata avviene tramite un'ulteriore tipologia di shelter individuata nell'*ABM* e denominata *bridge shelter*; l'assetto funzionale è del tutto simile a quello degli shelter più piccoli, uno spazio di ingresso conduce ai collegamenti verticali (scale, scale mobili e ascensori) che conducono al sovrappasso pedonale (*bridge*); il nodo di accesso è qui risolto in una struttura architettonica arcuata che dall'attacco a terra conduce al primo livello del sovrappasso.

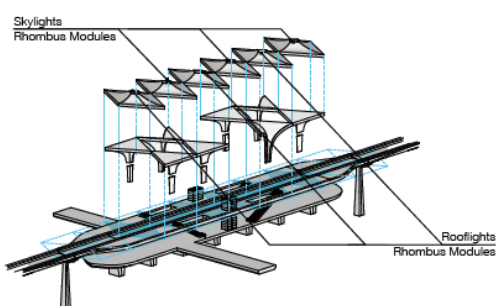
STEP 1



STEP 2



STEP 3



STEP 4

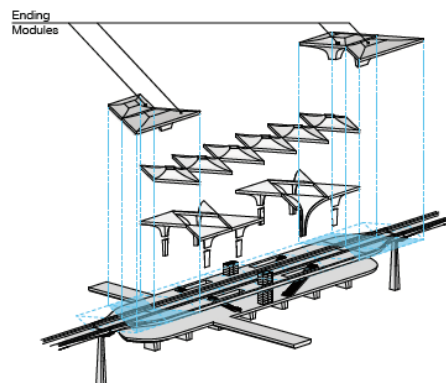
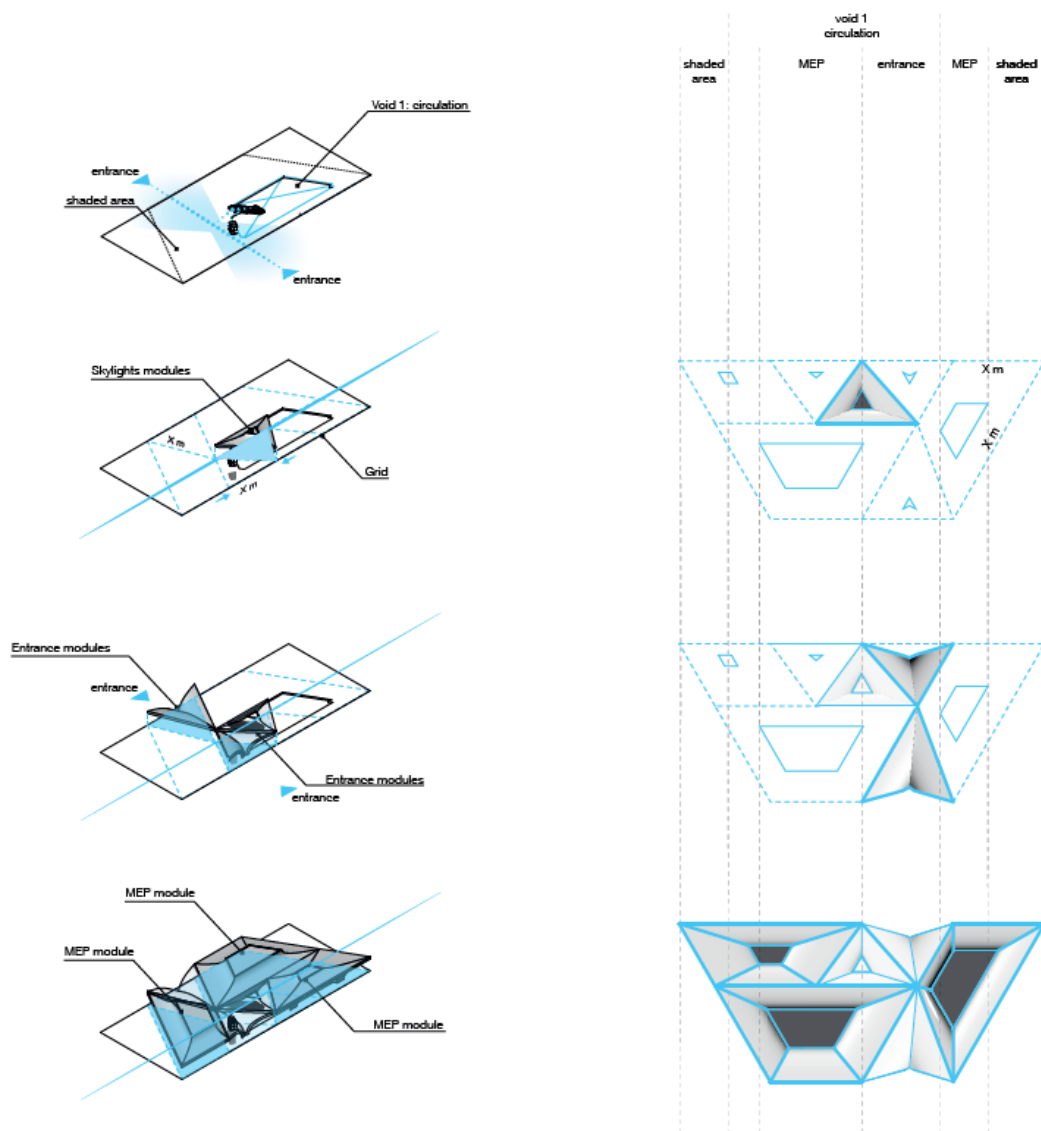


Illustrazione 59: Strategia compositiva di aggregazione tra diversi moduli per la costituzione degli shelter sopraelevati

L'*Architectural Branding Manual* individua inoltre la tipologia dello shelter speciale di dimensioni maggiori, quale quello della stazione principale di interscambio di Msheireb. Il livello terra è caratterizzato funzionalmente da diverse aree specifiche, gli accessi si moltiplicano sui quattro lati, diverse sono le aree di sosta e il vuoto centrale, quale elemento di connessione fisica e percettiva tra i diversi livelli, assume qui dimensioni notevoli così come le volte di copertura qui caratterizzate da luci strutturali significative. Sotto la stessa copertura trovano infatti alloggio, oltre al volume vetrato di accesso ai livelli inferiori della stazione, diversi volumi opachi di forma trapezoidale destinati agli impianti tecnologici; ciò consente di creare un passaggio coperto che attraversa trasversalmente lo shelter permettendo l'accesso ai diversi volumi e alle varieguate aree funzionali.

Il grande vuoto centrale assume nella stazione di Msheireb la duplice funzione di elemento connettivo sia dal punto di vista fisico, con il sistema di collegamenti e percorsi ai livelli inferiori, sia dal punto di vista funzionale, creando di fatto una grande hall a tripla altezza in grado di mettere in relazione i livelli inferiori del *Concourse* e del mezzanino con la zona di accesso alla stazione e con l'esterno.



*Illustrazione 60: Strategia compositiva di aggregazione tra diversi moduli per la costituzione dello shelter speciale della stazione principale di Msheireb*

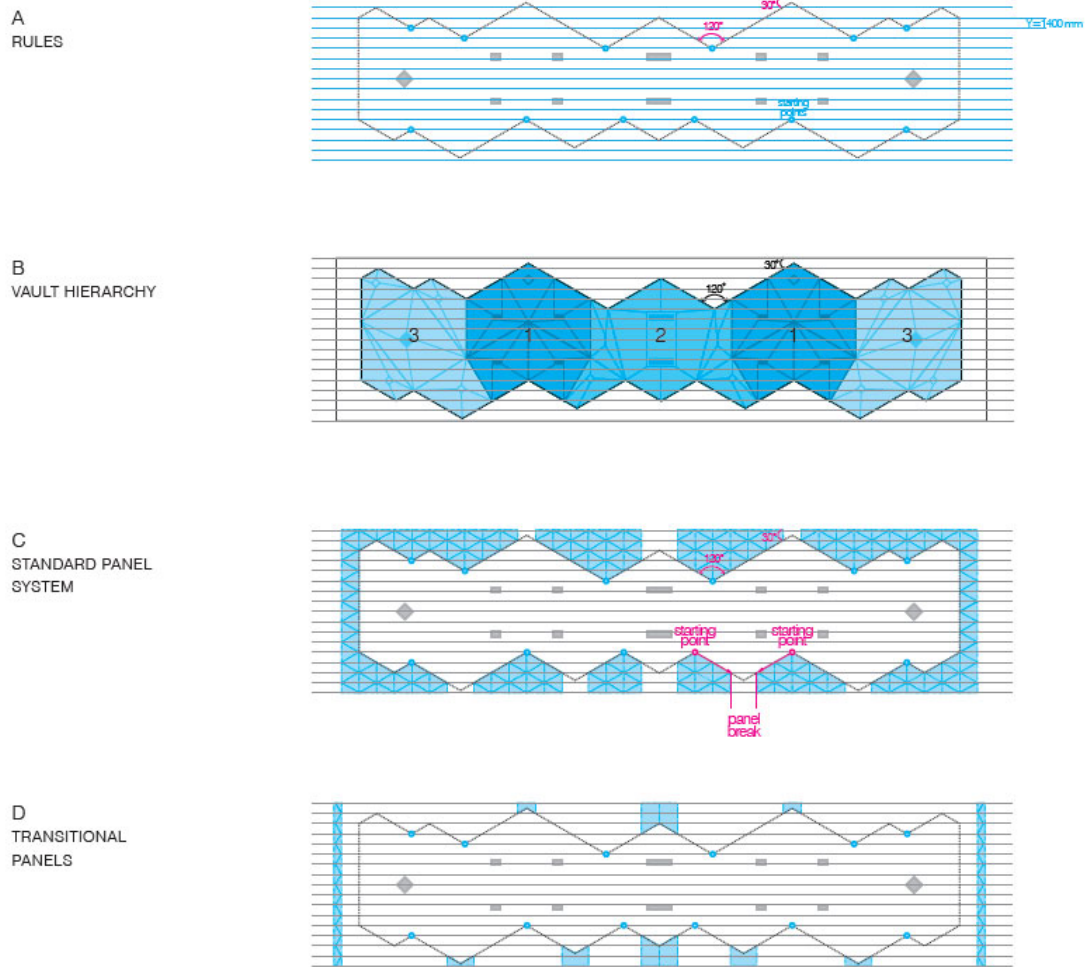
Questa connessione spaziale e funzionale è enfatizzata anche dalla presenza di due grandi lucernari che tentano di avvicinare e portare l'esterno nel grande *void* interno della stazione, uno pendente di forma triangolare proteso per portare più luce naturale possibile verso l'interno e uno di forma romboidale proteso verso il cielo quale sorta di *canon lumière*<sup>68</sup>.

Il rivestimento esterno dello shelter principale della stazione di Msheireb sarà in pietra locale calcarea, mentre gli spazi voltati interni saranno rivestiti taluni con piastrelle ceramiche esagonali di colore celeste con effetto perlaceo e texture tridimensionale realizzata ad hoc e innervati da luci lineari a seguirne la curvatura, altri rifiniti con intonaco fonoassorbente bianco.

Il secondo *branding element* analizzato è il controsoffitto, di fatto costituito da due elementi principali – volte e petali - che vengono a loro volta composti e ripetuti a formare una tessitura senza soluzione di continuità. Il sistema è garantito dalla giustapposizione di una griglia orizzontale con delle linee spezzate a formare angoli di 30 e 120 gradi. La composizione delle volte è determinata primariamente dal passo strutturale e segue inoltre una gerarchia legata ai vuoti dati dalle connessioni verticali tra livelli differenti, alla posizione degli ascensori e ad una variabile strettamente correlata alla tipologia di stazione e al suo sviluppo planimetrico.

---

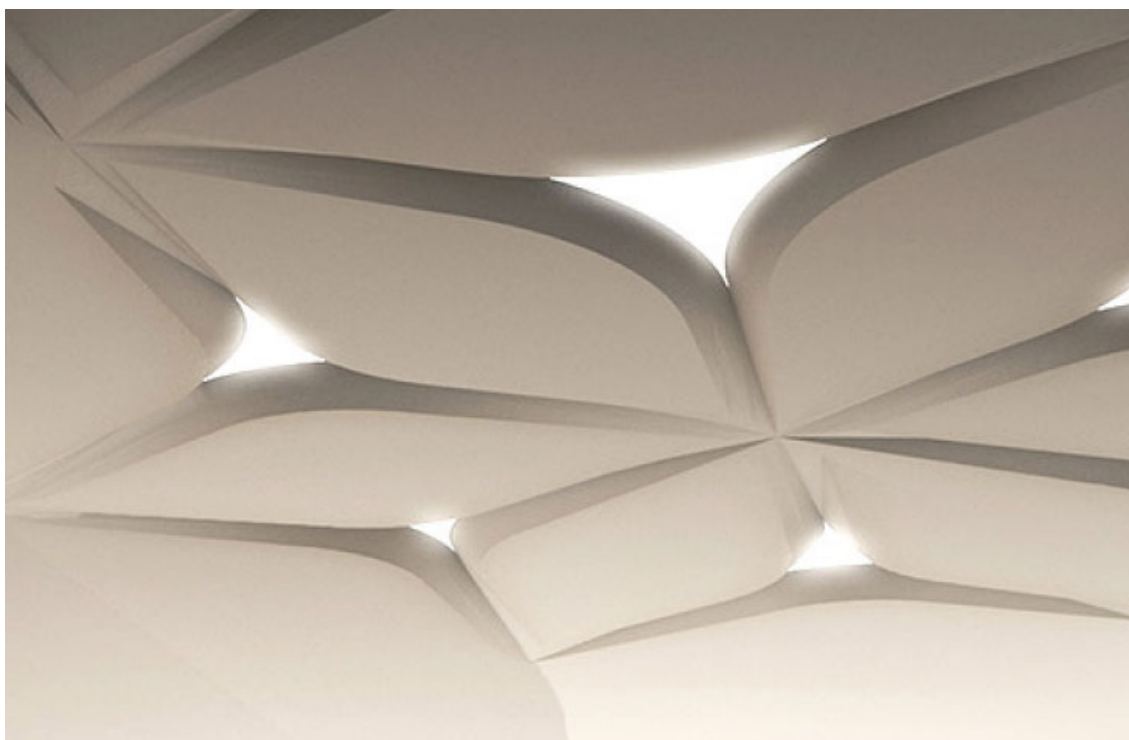
68 Nell'*ABM* sono individuate due differenti tipologie di lucernari: *rooflight* e *skylight*. Il primo di dimensioni maggiori è costituito da un insieme di volte ribassate e pendenti verso l'interno e rivestito inferiormente da una membrana in grado di diffondere la luce naturale; lo *skylight* è costituito da un insieme di volte protese verso l'alto ad intercettare una porzione di cielo e la luce naturale.



*Illustrazione 61: Esempio di aggregazione e composizione del controsoffitto in una stazione generica ad impianto lineare*

Lo sviluppo degli ambienti voltati avviene generalmente nella parte centrale delle aree, mentre le parti di bordo vengono determinate da un andamento discontinuo formato come detto da angoli di 30 e 120 gradi; ciò consente di ricondurre queste porzioni ad una griglia modulare, il cui elemento di base è costituito da un triangolo equilatero il cui lato misura 2800 millimetri, tanto quanto il pannello standard a forma di petalo. Per garantire la massima flessibilità sono previsti inoltre dei pannelli di transizione a completare la griglia in determinati punti.

I controsoffitti sono quindi dati dall'aggregazione e dal susseguirsi di ambienti voltati ad altezze variabili con pannelli modulari a forma di petalo a costituire un pattern continuo e dinamico. I moduli a controsoffitto consentono inoltre l'installazione di corpi luminosi tra la disposizione dei petali, ad evidenziarne il pattern e la tridimensionalità. I pannelli a forma di petalo del controsoffitto possono essere smontabili per future manutenzioni e consentono l'eventuale accessibilità al sistema di impianti posti al di sotto della soletta strutturale.



*Illustrazione 62: Composizione di controsoffitto modulare con i pannelli a forma di petalo (fonte web UNStudio)*

Gli ambienti voltati rappresentano il tratto maggiormente distintivo dell'intero brand immaginato da UNStudio, declinando l'identità della rete a tutte le scale di

intervento. Gli ambienti interni, come già detto, si rifanno alla ricchezza materica e formale di tradizione islamica, caratterizzata soventemente da un costante dualismo tra ripetizione e variazione; da qui si può cogliere la grande attenzione posta da Van Berkel e Bos alle matrici geometriche dell'architettura tradizionale, nonché alla reinterpretazione di pattern, tessiture e accostamenti nell'applicazione dei rivestimenti e delle finiture. Lo studio assume infatti il modulo a base triangolare quale elemento ripetitivo e standardizzato che permette di ricondurre figure caratterizzate da geometrie complesse e varie ad un sistema riconoscibile e replicabile.

Le volte rappresentano certamente un'efficace paradigma di questo procedimento adottato dai progettisti, che partendo dall'arco a sesto acuto e dal suo sviluppo geometrico, porta questo elemento in una dimensione spaziale e tridimensionale mai statica, grazie al progressivo susseguirsi di superfici complesse di raccordo tra i vari archi. Inoltre la varietà e la ricchezza materica e un molteplice uso della luce assumono qui caratteri peculiari capaci di donare dinamismo e contribuire a differenziare il disegno e la percezione degli ambienti, anche in base alle varie funzioni che si succedono all'interno delle stazioni.

La geometria dell'arco delle volte è definita da cinque punti di controllo che determinano la curvatura degli spigoli posti a raccordare le superfici laterali. L'applicazione di queste regole costruttive consente di evitare aberrazioni geometriche e di garantire una certa omogeneità nella pur grande varietà di forme e combinazioni, perseguendo l'identità della rete in tutte le scale di intervento.

Gli ambienti voltati sono definiti da una molteplicità di elementi descritti nell'*ABM*, declinati rispetto ai casi tipologici che via via si susseguono tra i vari spazi e le funzioni presenti. Gli interni delle stazioni presentano, a titolo esemplificativo, le volte in corrispondenza delle colonne strutturali (*column vault*), poste normalmente tra due solette, a singola altezza per ogni livello, oppure a doppia o tripla altezza in corrispondenza dei vuoti di connessione tra diversi livelli; le volte sospese (*downlight vault*), quali sorte di pozzi di luce, con apertura di base triangolare o quadrangolare, posti ad una certa altezza dal controsoffitto; le volte poste al di sotto di scale e scale mobili (*escalator vault*), che ne seguono l'andamento con un arco di raccordo tra quota del pavimento e quota del controsoffitto; le volte poste in corrispondenza degli ascensori (*lift vault*).

Dal punto di vista materico e del rivestimento ogni elemento descritto presenta caratteristiche differenti. Le volte a colonna avranno delle facce ricurve rivestite in piastrelle ceramiche perlacee esagonali celesti, su cui verranno installate le luci lineari a sottolinearne la forma e a guidare i percorsi e i flussi dei passeggeri; altre facce saranno invece di colore bianco posto su base di intonaco fonoassorbente,

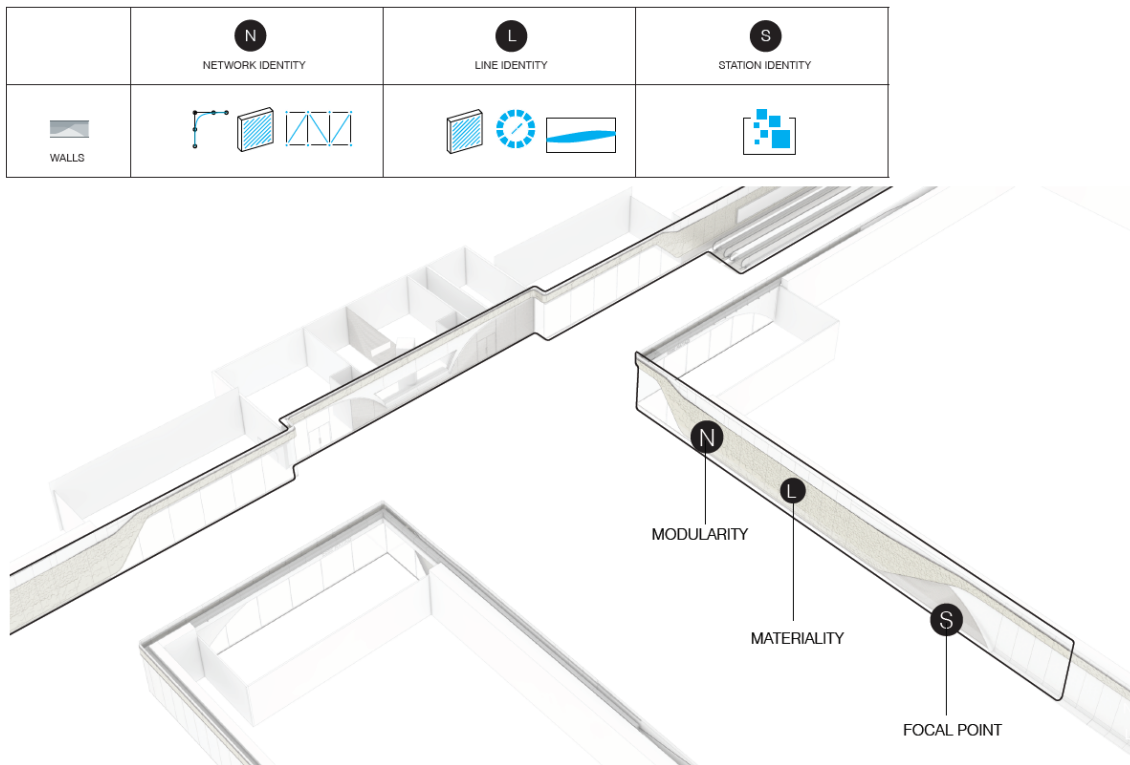


con basamento in pietra acrilica bianca a protezione di usura ed eventuali colpi accidentali. Le volte sospese presenteranno stessi materiali di rivestimento con l'eccezione della pietra acrilica, qui non più necessaria, mentre quelle poste in corrispondenza degli ascensori saranno unicamente intonacate con finitura bianca. Le volte poste al di sotto di scale e scale mobili presenteranno inoltre una fascia in pietra artificiale colorata in base alla linea di metropolitana su cui verranno installate (identità della linea) e, a livello del basamento, saranno installate delle vetrine, che veicolano elementi culturali differenti propri di ciascuna stazione (identità della stazione).



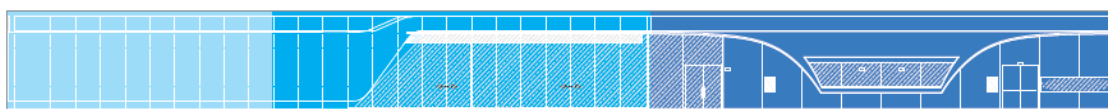
*Illustrazione 63: Rendering di un ambiente voltato interno al livello platform di accesso ai treni (fonte web UNStudio)*

Il terzo *branding element* è rappresentato dai muri, elemento architettonico significativo rispetto all'identità del brand, in quanto declinato gradualmente alle tre scale date da rete, da linea di appartenenza e da ciascuna specifica stazione. In particolare le geometrie, l'accostamento tra materiali diversi e la ripetitiva modularità appaiono come delle invarianti a caratterizzare l'identità della rete; altresì la declinazione della superficie di rivestimento, i colori e i dettagli differiscono in ogni linea, così come i contenuti presentati in significativi punti focali sono elementi caratteristici di ciascuna stazione.

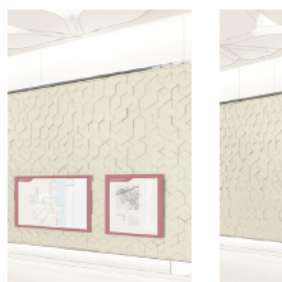


*Illustrazione 64: L'identità dei muri in un esempio di una stazione lineare sotterranea al livello Concourse (fonte ABM)*

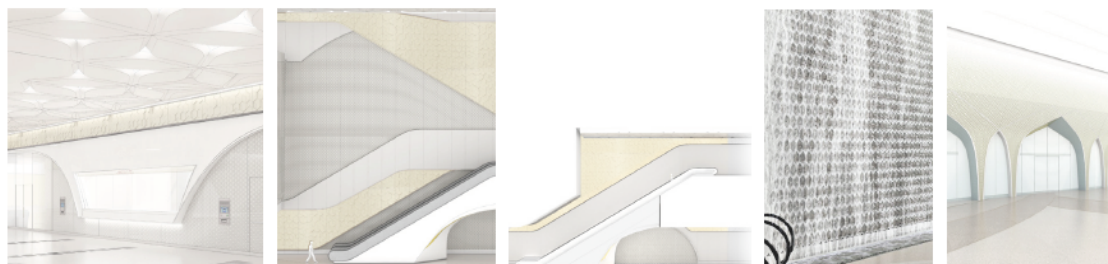
Il sistema modulare delle finiture perimetrali è composto da tre distinti elementi: i punti focali (*focal points*) sono immaginati quali elementi unici e attrattori posizionati per rimarcare e differenziare specifiche zone di transito; i moduli standard sono flessibili e ripetibili (caratterizzati da differenti materiali di finitura, definiti in base all'identità della linea), su cui possono essere integrati una pluralità di elementi quali dispositivi antincendio, biglietterie automatiche, vetrine e wayfinding; gli elementi speciali sono elementi che caratterizzano determinate situazioni spaziali in alcune stazioni, quali ad esempio zone a doppia altezza, il *water wall* e il *retail wall* di Msheireb.



FOCAL POINTS



STANDARD MODULES



SPECIAL ELEMENTS

*Illustrazione 65: Strategie progettuali ed elementi identificativi al livello Concourse: punti focali, moduli standard ed elementi speciali (fonte ABM)*

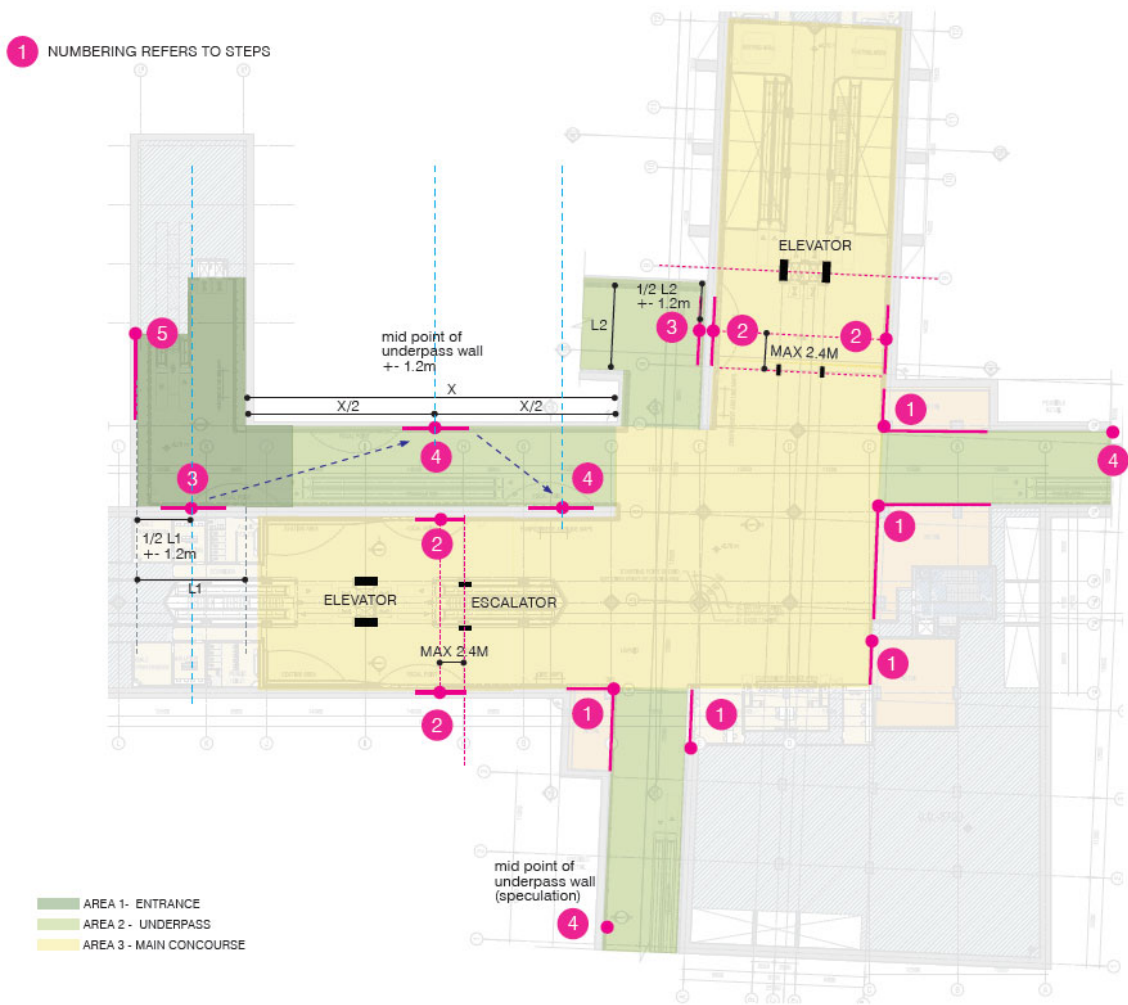


Illustrazione 66: Esempio di posizionamento dei punti focali a parete (focal points) al livello Concourse di una stazione di tipologia GUX, stazione sotterranea di incrocio tra due linee (fonte ABM)

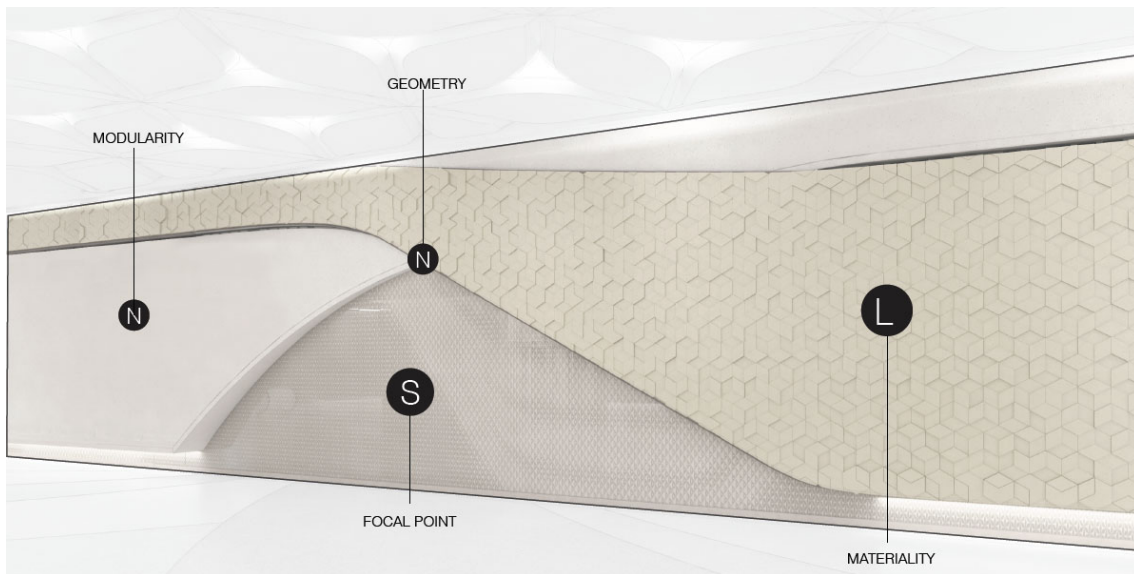


Illustrazione 67: Il livello multiscalaro di identità di un punto focale: identità della rete (modularità e geometria), identità della linea (materialità) e identità della stazione (contenuti) (fonte ABM)

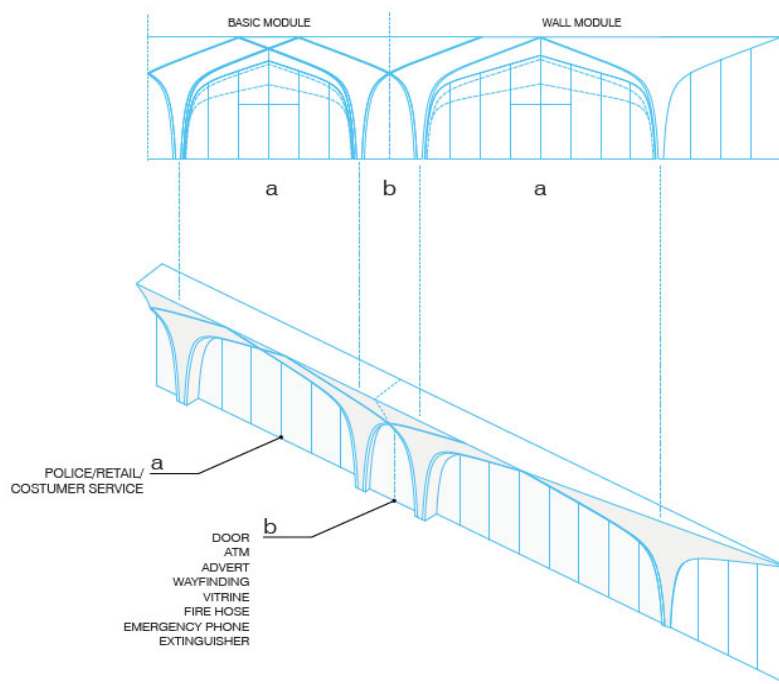
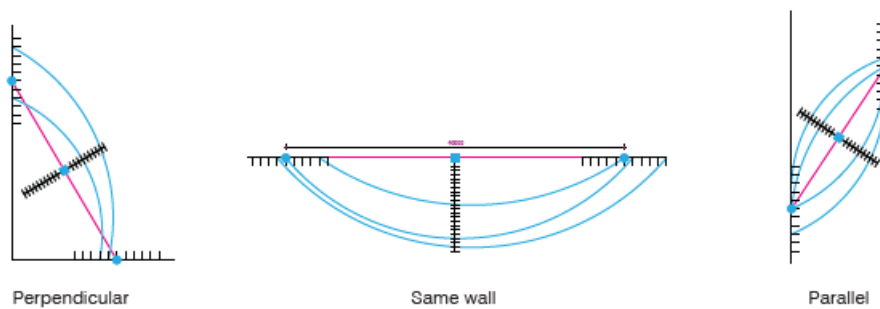


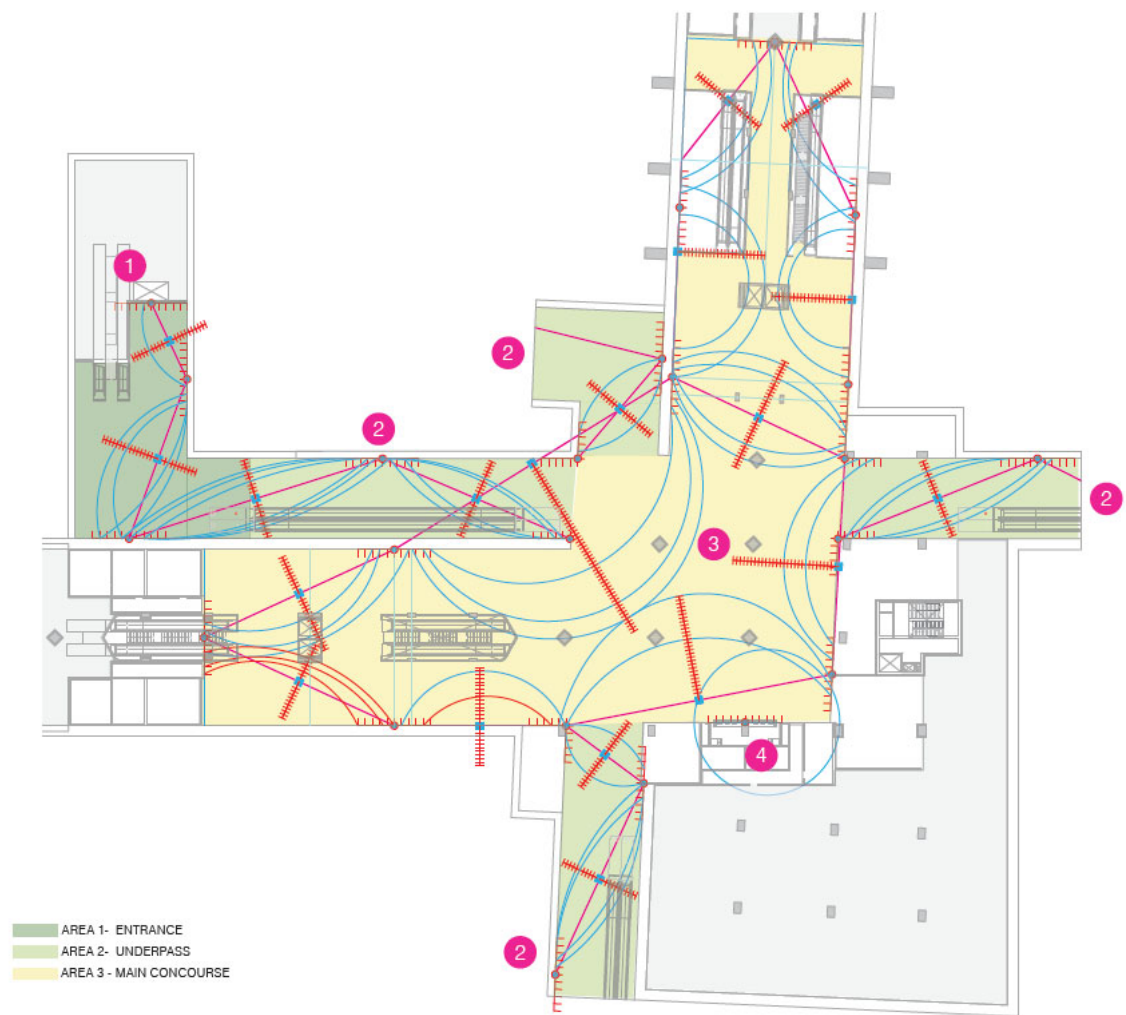
Illustrazione 68: Elemento speciale: geometria e modularità per il disegno del retail wall al livello mezzanino della stazione di Msheireb (fonte ABM)

Il quarto *branding element* descritto sono i pavimenti, costituiti da un pattern continuo ad elementi curvilinei disposti in base ad alcuni punti significativi con funzione di attrattori, posizionati per condizionare e guidare i flussi in transito dei passeggeri. Le varie porzioni di pavimento sono quindi generate da archi e in ogni stazione presentano tre differenti gradazioni cromatiche (chiaro, medio e scuro) date dall'uso di differenti pietre con specifica granulometria in base alla linea di appartenenza (identità della linea); la finitura è quindi in terrazzo.



*Illustrazione 69: Schema di costruzione del pattern della pavimentazione a partire da diversi punti attrattori situati sulle pareti verticali*

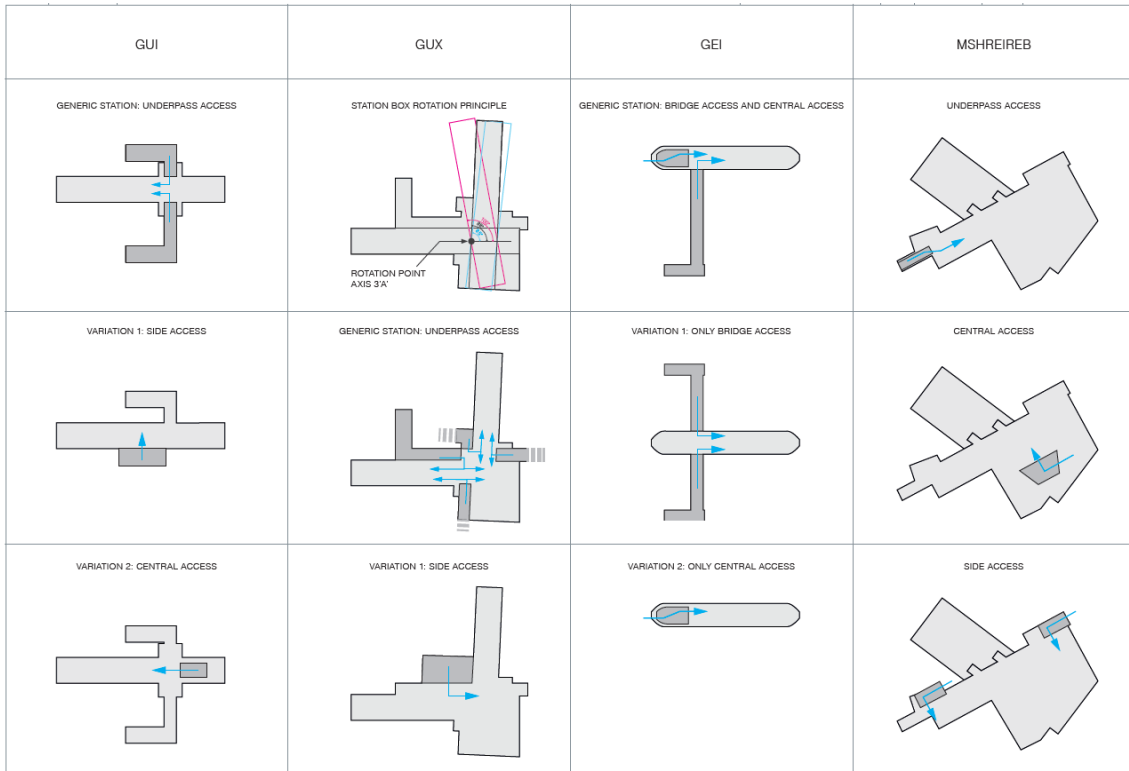




*Illustrazione 70: Esempio di costruzione geometrica del pattern della pavimentazione al livello Concourse di una stazione di tipologia GUX, stazione sotterranea di incrocio tra due linee (fonte ABM)*

Il quinto *branding element* analizzato è il layout funzionale e percettivo proprio di ciascuna tipologia di stazione.

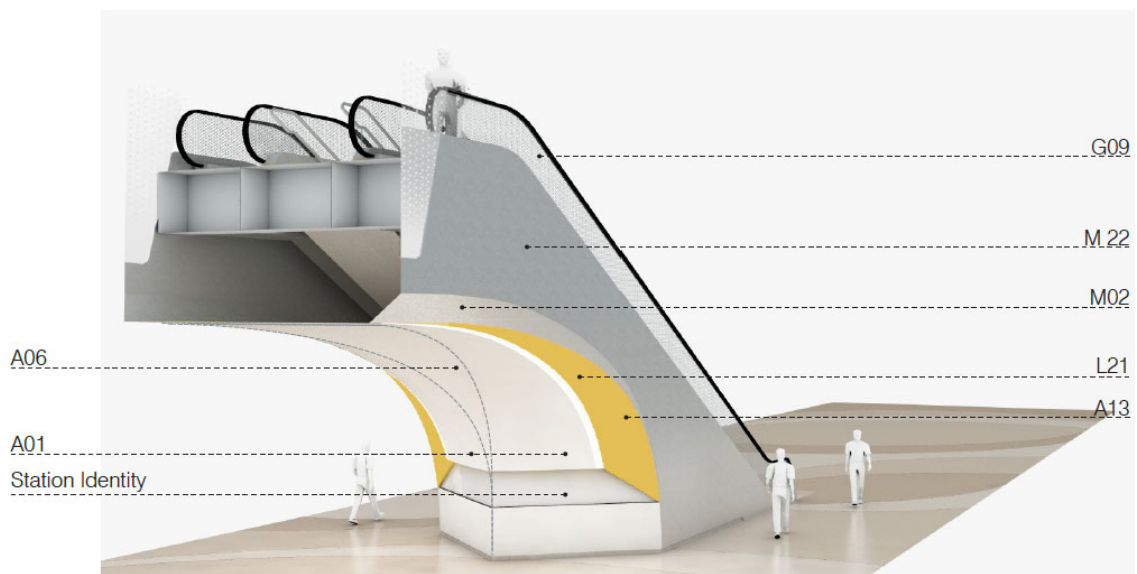
Vengono qui analizzati inoltre i servizi presenti e la loro localizzazione preferenziale all'interno dei percorsi e delle aree di ogni stazione: servizio clienti, servizi pubblici (servizi igienici, locali per abluzioni e sale di preghiera), negozi, nonché le disposizioni dei diversi locali rispetto ai percorsi preferenziali e alle entrate principali e secondarie.



*Illustrazione 71: Le diverse tipologie di stazione e lo studio dei diversi layout secondo i percorsi preferenziali e le entrate principali e secondarie (fonte ABM)*



Il sesto *branding element* è rappresentato dalle attrezzature, quali scale mobili, *tapis roulant*, ascensori. Le attrezzature sono integrate nel concept architettonico predisposto da UNStudio, come si può notare ad esempio per le scale mobili, la cui parte inferiore è rivestita con un elemento voltato ad hoc denominato *escalator vault*, nel quale sono presenti diversi elementi identificativi, quali una banda in mineral acrilic che denota la linea nella quale ci troviamo e una vetrina con elementi propri della stazione.



*Illustrazione 72: Esempio di escalator vault posizionata al di sotto delle scale mobili e dei materiali identificativi di ciascun elemento (fonte ABM)*

Il settimo *branding element* è relativo alle strategie legate al wayfinding, per il quale si prevedono diversi elementi, ciascuno posizionato ad altezze prestabilite, con diversi messaggi informativi. Le mappe dettagliate sono posizionate su delle vetrine a parete per una consultazione più approfondita, mentre gli schemi di rete inerenti una specifica linea sono posizionati su dei totem free standing localizzati nei pressi dei collegamenti verticali. Altri segnali sono posizionati a soffitto su specifici elementi dedicati, quali volte ribassate o petali speciali a controsoffitto.

La posizione dei diversi elementi è stata determinata basandosi sullo studio dei flussi dei passeggeri nei diversi livelli della stazione.



Illustrazione 73: Visualizzazione schematica con i diversi elementi afferenti al sistema di wayfinding (fonte ABM)

L'ottavo *branding element* analizza i principali arredi: sedute ad isola, panche lineari, cestini. Anche per questi elementi si è prestata particolare attenzione al processo multiscalare dato dall'identità della linea, riconoscibile dalle forme geometriche, dato dall'identità della linea, distinguibile dai materiali e dai colori utilizzati per gli arredi, e dall'identità della stazione, data dalla presenza di vetrine con elementi identificativi della stazione.

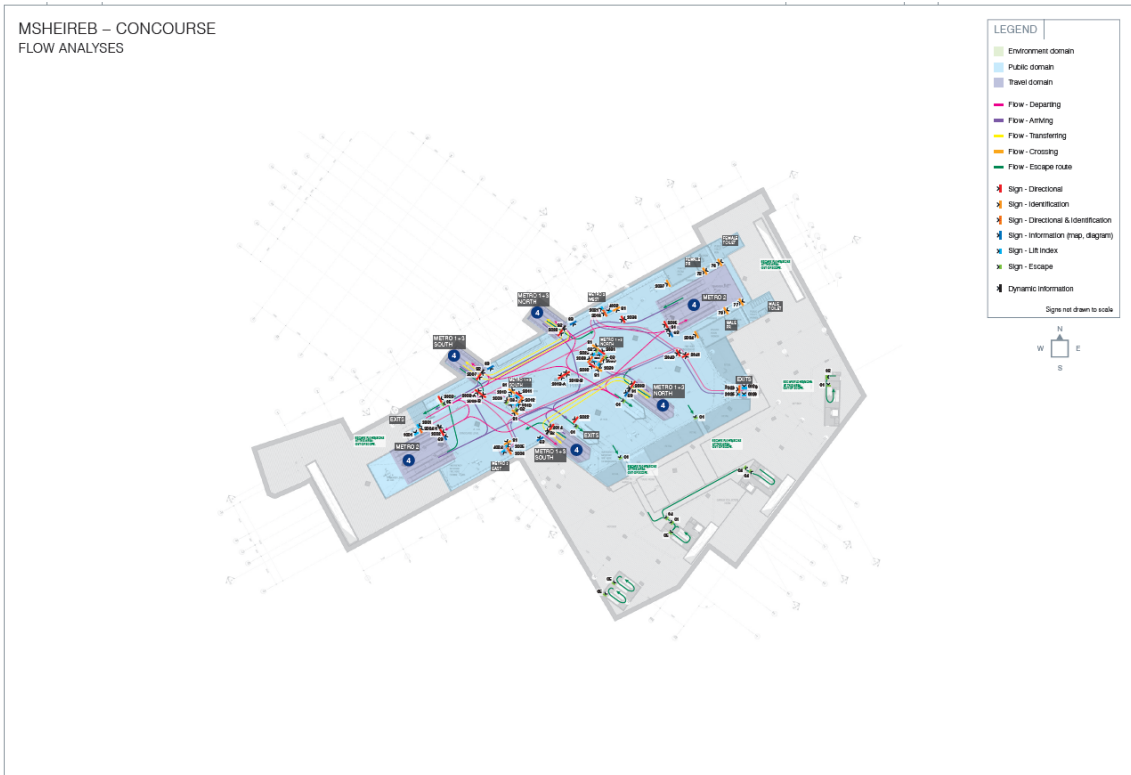


Illustrazione 74: Analisi dei flussi dei passeggeri al livello concourse della stazione di Msheireb con l'individuazione del posizionamento dei diversi dispositivi afferenti al sistema di wayfinding (fonte ABM)

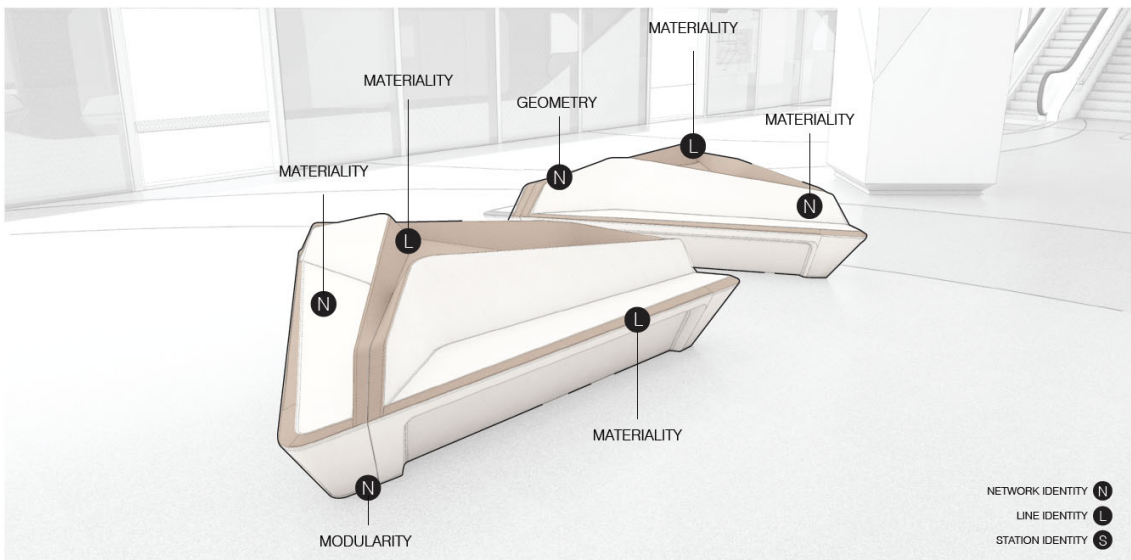


Illustrazione 75: Il sistema degli arredi: le panche ad isola (fonte ABM)



## 4.2 Costruzione

### 4.2.1 Coordinamento avanzato tra discipline

Il processo di costruzione delle due Major Stations di Msheireb e di Education City è stato gestito direttamente da Qatar Rail, attraverso l'individuazione di un main contractor e di diversi subcontractor, ciascuno afferente alle differenti discipline principali presenti:

- impianti meccanici, elettrici e idraulici (MEP) per la stazione di Msheireb;
- impianti meccanici, elettrici e idraulici (MEP) per la stazione di Education City;
- finiture architettoniche delle zone aperte al pubblico per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- sistemi di trasporto verticale e orizzontale (VHTS) per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- Master System Integrator (MSI) per le stazioni di Msheireb e di Education City.

Lo stesso main contractor ha curato inoltre la realizzazione delle opere civili sotterranee, quali le strutture in cemento armato, nonché le strutture e le finiture architettoniche delle zone tecniche interdette al pubblico. Il main contractor ha inoltre individuato direttamente ulteriori subcontractor o fornitori afferenti a discipline specialistiche, quali:

- strutture principali in acciaio per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- strutture secondarie in acciaio per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- elementi in alluminio e facciate principali per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- rivestimenti in pietra per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- saldature per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- strutture secondarie addizionali in acciaio per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- scale di sicurezza e strutture in acciaio degli ascensori per le stazioni di Msheireb e di Education City;
- arredi urbani esterni per le stazioni di Msheireb e di Education City.

Ciò per porre in evidenza la molteplicità di soggetti coinvolti nel processo di modellazione digitale e informativa basata sul *Building Information Modelling* e per illustrare i metodi di coordinamento avanzato tra discipline attuati durante il processo costruttivo, nonché i sistemi di interoperabilità adottati per consentire un flusso processuale idoneo ed efficace. In particolare si propone di analizzare i

processi e le procedure operative afferenti alla *clash detection*, individuato quale lo strumento più efficace per poter garantire un coordinamento costante tra i diversi attori coinvolti nella realizzazione delle due stazioni di Msheireb e di Education City. La clash detection consente infatti di analizzare e verificare le interferenze presenti tra le diverse discipline considerate, in un processo ciclico ripetuto di aggiornamenti di modellazione e di verifica delle congruenze.

#### **4.2.2 Individuazione delle interferenze: la *clash detection***

Le interferenze sono state valutate dapprima all'interno di ogni disciplina, con l'intenzione quindi di elaborare e produrre modelli *clash free* per ciascun ambito tematico (architettonico, strutturale, impiantistico, etc.); in seguito si è proceduto ad un'analisi sistematica e dinamica organizzata per livelli di priorità, la cosiddetta *clash detection*. Questa ha consentito di porre in evidenza eventuali discrepanze, interferenze, sovrapposizioni o incoerenze tra diverse discipline, in un processo continuo e dinamico.

La *clash detection* è un processo iterativo in cui i modelli BIM delle diverse discipline, afferenti alla fase progettuale o alla fase costruttiva dell'intervento, vengono analizzati dai vari stakeholder al fine di identificare e risolvere i problemi di coordinamento correlati all'interrelazione fisica e funzionale tra i vari elementi. Evidenziare e risolvere i conflitti durante le fasi iniziali della progettazione, garantendo quindi il coordinamento e la coerenza tra tutte le discipline, è uno dei vantaggi più importanti del processo integrato tipico del *Building Information Modelling*.

L'obiettivo della *clash detection* è dunque quello di eseguire ciclicamente dei rapporti e delle verifiche sulle possibili interferenze geometriche, disponendo di un processo predefinito, la cui definizione è in capo al committente o alla stazione appaltante (Qatar Rail, nel caso specifico preso in esame delle due stazioni di Msheireb ed Education City), così da consentire a tutti i progettisti e a tutti gli appaltatori di applicare procedure comuni e codificate.

Il metodo predefinito consente di identificare i problemi o le incoerenze progettuali che potrebbero comportare un aggravio in termini di costi e di tempi, sia durante la progettazione, prevenendo possibili varianti o modifiche da apportare per risolvere il coordinamento tra discipline, sia durante la costruzione, anticipando ed evidenziando possibili criticità che potrebbero emergere durante ciascuna fase esecutiva.

L'obiettivo dei report prodotti per la *clash detection* è quindi quello di anticipare le procedure da mettere in atto per la risoluzione delle interferenze e per garantire la

necessaria armonia e coerenza tra modelli, in modo da ottimizzare il processo costruttivo e poter evidenziare e risolvere le diverse problematiche emerse già in fase progettuale, piuttosto che procrastinarle alla successiva fase costruttiva ed esecutiva. Ciò ha notevolissime ripercussioni positive sui tempi e sui costi dell'intero processo progettuale e costruttivo dell'intervento, consentendo di attuare un costante monitoraggio nel corso dell'intero iter e di visualizzare dettagliate analisi utili a definire le soluzioni più opportune in ciascuna fase.

La procedura della *clash detection* è quindi normalmente differenziata e calibrata a seconda dei diversi momenti che caratterizzano le fasi progettuali e le fasi esecutive, con l'obiettivo di perseguire il coordinamento più opportuno per ciascuna fase e l'ottimale coerenza tra discipline, con un livello di approssimazione che diviene progressivamente più definito e stringente.

Fin dalle fasi iniziali della progettazione si prevede infatti che possano essere presenti numerosissimi conflitti, dovuti principalmente a mancato coordinamento tra discipline (quali ad esempio elementi strutturali che non prevedono il passaggio degli impianti o elementi impiantistici che non tengono in considerazione gli spessori o le posizioni delle finiture architettoniche) oppure alla presenza di soluzioni progettuali ancora poco definite e suscettibili di ulteriori approfondimenti nel corso degli sviluppi successivi (come ad esempio i nodi di una struttura reticolare in acciaio che vengono generalmente definiti ad un livello progettuale avanzato, piuttosto che i raccordi flessibili tra canalizzazioni di mandata dell'aria la cui geometria e la cui posizione verranno meglio definiti in fase esecutiva).

L'obiettivo della *clash detection* non deve quindi essere quello di analizzare tutte le incoerenze presenti, ma deve altresì analizzare i vari elementi in modo differenziato per ciascuna fase del processo, con il fine di evidenziare le interferenze pertinenti per grado di priorità, per fase progettuale o per livello di approfondimento del modello<sup>69</sup>, e risolverle puntualmente.

Ciò è perseguibile tramite una chiara definizione del metodo da utilizzare - nell'individuazione delle interferenze - da parte dello stesso committente e dallo scopo prefissato in ciascuna fase, sia essa afferente a una maggiore definizione del progetto e dell'armonia tra discipline o sia legata a delle verifiche puntuali su di un particolare processo costruttivo.

---

<sup>69</sup> Il livello di approfondimento del modello viene generalmente definito con l'acronimo LOD – *Level of Detail* – seguito da un codice numerico. Il valore del LOD indica di fatto il grado di accuratezza e definizione che assume il modello tridimensionale nelle diverse fasi progettuali, dal livello preliminare a quello definitivo ed esecutivo, ed è proprio di ciascun elemento (finiture del controsoffitto, rivestimenti delle facciate o determinata classe di impianti).



In quest'ottica appare evidente la relazione tra fase progettuale richiesta (quali ad esempio studio di prefattibilità, progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo, con gradi di approfondimento via via più definiti e puntuali), livello di approfondimento del modello (valori crescenti del *Level of Detail* LOD comportano una maggiore accuratezza delle parti che costituiscono ciascun elemento costruttivo) e tipologie di interferenze e conflitti da individuare ed evidenziare con la *clash detection* per ciascuna fase, ad esempio attraverso analisi e verifiche geometriche su di una singola disciplina nelle fasi iniziali della progettazione, per arrivare ad una piena coerenza tra discipline diverse in fase esecutiva. La *clash detection* si differenzia inoltre in termini di impatti dei conflitti stessi, che possono essere definiti minori - *minor clash* – da risolvere in fasi successive o possono essere individuati come interferenze importanti - *hard clash* - da risolvere al più presto.






LOD100	LOD200	LOD300
Native information, if required at all.	Modelling assemblies with approximate size, shape, and orientation. Material data added.	Data-rich modelling assemblies with design specified actual size, shape and orientation. Finishes-type data is added.
		
LOD350	LOD400	Comments
Detailed modelling assemblies with final size, shape and orientation. Recesses for services and fittings for lighting are included.	Detailed construction/fabrication assemblies with final size, shape and orientation. Suspended ceiling grid and supports, including lateral bracing, are required for coordination. Model includes pattern, expansion joints, and construction joints, as required.	This element can contain openings.
		

Illustrazione 76: Esempio di livello di approfondimento (LOD – Level of Detail) per le finiture di un controsoffitto (fonte Qatar Rail BIM Guidelines - QRBG)

Qatar Rail ha elaborato delle linee guida BIM (*Qatar Rail BIM Guidelines – QRBG<sup>70</sup>*) che definiscono, tra le altre cose, i requisiti e i processi sui cui impostare la *clash detection* nei vari progetti afferenti alla realizzazione della nuova metro di Doha. Questi processi verranno utilizzati dalla stessa committente per validare tutti i modelli sottoposti a revisione, con il fine di ottemperare ai requisiti impostati per le *clash detection* durante le fasi di progettazione e di costruzione, in modo da

<sup>70</sup> Le linee guida sono state redatte da Qatar Rail con la consulenza esterna di Autodesk.

garantire che ciascun soggetto soddisfi al meglio le esigenze definite dalla committente.

I metodi e le procedure da applicare includono le impostazioni da assegnare a ciascun modello, le procedure di analisi standardizzate e le procedure di revisione e analisi. Utilizzando le informazioni allegate agli oggetti, questo processo è definito non solo per evidenziare le interferenze ma anche per focalizzarsi sulla valutazione di quelli ritenuti validi e coerenti a seconda di una predeterminata fase del progetto.

Nel progetto di Major Stations, la realizzazione delle stazioni di Msheireb e di Education City, sono state appunto utilizzate le procedure e le linee guida predisposte da Qatar Rail per l'esecuzione della *clash detection*.

Le discipline prese in considerazione per procedere con l'analisi dei conflitti sono state raggruppate in quattro principali categorie: architettura, strutture, impianti meccanici e impianti elettrici. Il committente richiede dunque l'elaborazione di differenti report di analisi dei conflitti, ciascuno afferente alle quattro principali categorie; questi dovranno essere redatti secondo metodi e procedure determinati, seguendo la matrice di assegnazione per la risoluzione dei conflitti attraverso un processo codificato e utilizzando un modello comune e codificato. Nel processo di analisi e valutazione, ciascuna interferenza dovrà essere facilmente ed univocamente identificata tramite: le coordinate proprie del punto di conflitto per l'individuazione spaziale, le informazioni identificative (un codice), le tipologie di oggetti (ad esempio soletta in calcestruzzo e pannello di finitura in cartongesso), le nomenclature degli oggetti, etc.

Il metodo di rilevamento dei conflitti si basa su dei campi aggiunti a ciascun elemento durante lo sviluppo della modellazione; questo metodo consente di isolare dei gruppi di elementi in base a tali valori assegnati in precedenza, che divengono una proprietà dell'elemento stesso, a prescindere dalla tipologia di software utilizzato per la modellazione. Nelle linee guida di Qatar Rail sono indicati tre campi da aggiungere alle proprietà e popolare con dati e valori durante la fase di modellazione.

In particolare, un primo gruppo di valori viene identificato con un parametro di priorità (A, B o C), desumibile dalla matrice di assegnazione dei conflitti a seconda del livello di progettazione relativo a quel dato elemento (come evidenziato in precedenza per illustrare i differenti *Level of Details*, il controsoffitto ad esempio sarà modellato dapprima come un semplice pannello, per includere in seguito tutti gli elementi che ne denoteranno le specificità geometriche, materiche e costruttive), alle priorità di conflitto indicate nelle linee guida (dove si indica ad esempio quali interferenze prioritarie dovranno essere necessariamente risolte in quella determinata

fase progettuale) e infine in base alla flessibilità di ricollocazione di un determinato elemento rispetto ad un altro (ad esempio sarà più complesso riposizionare una condotta che scarica per gravità rispetto ad un'altra sotto pressione).

Un secondo gruppo di valori è rappresentato da un codice alfanumerico applicato ad elementi specifici, in cui la lettera identifica la disciplina e il numero la categoria di elemento (ad esempio A.10 identifica la disciplina dell'architettura e gli elementi delle volte, mentre S.30 identifica la disciplina delle strutture e gli elementi dei solai); tali elementi sono comunque categorizzati e classificati secondo il primo gruppo di valori. Per esemplificare, gli elementi delle volte (A.10) sono identificati inoltre dal parametro di priorità di primo livello (A, elementi primari del modello architettonico), mentre i controsoffitti dei locali tecnici (A.180) sono identificati dal parametro di priorità di secondo livello (B, elementi secondari del modello architettonico) e i cordoli dei marciapiedi esterni (A.260) sono identificati dal parametro di priorità di terzo livello (C, elementi terziari del modello architettonico).

CLASH DETECTION MATRIX				Discipline		ARC																														
				Clash Priority		A																														
				Clash Group 1		B												C																		
				Clash Group 2		Primary Architectural Model Elements												Secondary Architectural Model Elements																		
Discipline	Clash Priority	Clash Group 1	Clash Group 2	Set Description	A.10	A.20	A.30	A.40	A.50	A.60	A.70	A.80	A.90	A.100	A.120	A.140	A.160	A.180	A.190	A.200	A.210	A.220	A.230	A.240	A.250	A.260	A.270	A.280	A.290	A.300	A.310	S.10	S.20	S.30	S.40	S.50
Primary Architectural Model Elements					Secondary Architectural Model Elements																															
					A.190	A.200	A.210	A.220	A.230	A.240	A.250	A.260	A.270	A.280	A.290	A.300	A.310	A.190	A.200	A.210	A.220	A.230	A.240	A.250	A.260	A.270	A.280	A.290	A.300	A.310	S.10	S.20	S.30	S.40	S.50	
A																																				
Vaulted Ceilings Front of House Regular Ceilings Columns Curtain Walls Doors Raised Floors Fixed Luminaires Handrails, Ladders and Guardrails Insulation Louvers Rainwater Products					Blank OT House Regular Ceiling Cladding Fire and Soundproof Barriers Regular Floors Shading System Signage Products CWI Non Beaming Vail Barriers Cuts and Payment Environment Railing and Fences Services Spaces Partition Walls Foundations Columns Slabs Framing Beams Walls																															

Illustrazione 77: Esempio di un estratto della matrice per la clash detection con assegnazione delle classi di priorità per ciascun elemento afferente ad una determinata disciplina (fonte Qatar Rail)

Appare intuitivo come questo sistema predisposto da Qatar Rail sia fondamentale per gerarchizzare tutti i conflitti tra elementi architettonici, strutturali ed impiantistici secondo differenti livelli di priorità e inoltre come tale sistema consenta una valutazione circa l'entità dell'interferenza e del suo impatto all'interno del quadro complessivo di analisi e valutazione. Si pensi che in alcune fasi del progetto potrebbero essere individuati migliaia di conflitti, è dunque necessario valutarne l'entità e il livello di priorità, altrimenti si rischierebbe di prendere in considerazione delle interferenze poco significative, come ad esempio delle prese elettriche con le pareti o delle porte con le pareti.

### **4.2.3 Metodologie di risoluzione dei clash: un processo ciclico**

Il processo di *clash detection* dovrebbe essere avviato fin dalle prime fasi del progetto in quanto, se avviato troppo tardi, riduce notevolmente i benefici che le analisi e le verifiche dei conflitti possono generare sull'approccio integrato alla base del *Building Information Modelling*.

Il pronto avvio del processo di analisi e verifica può consentire di identificare possibili conflitti e interferenze già in una fase iniziale del ciclo progettuale, consentendo di agire prontamente attraverso l'individuazione delle misure più idonee da apportare per la risoluzione e l'eliminazione dell'incongruenza.

Un'interferenza rilevata in una fase molto avanzata del progetto potrebbe essere di più difficile risoluzione, tenendo soprattutto in considerazione il grado di complessità che i diversi elementi del modello potrebbero aver raggiunto e le notevoli implicazioni che la modifica di un singolo elemento di una disciplina potrebbe avere rispetto ad elementi di altre discipline già frutto di operazioni di coordinamento e di adeguamenti successivi.

L'approccio più opportuno prevede infatti che ad ogni fase progettuale corrisponda una *clash detection* dedicata per la verifica e la risoluzione dei possibili conflitti, così la gestione delle interferenze può essere gestita gradualmente, consentendo di soddisfare un design coordinato tra tutte le discipline al termine di ogni fase progettuale.

La *clash detection* dovrebbe essere ripetuta ciclicamente durante l'avanzamento della progettazione, in modo da poter monitorare periodicamente il coordinamento e la coerenza tra i diversi elementi, sia afferenti ad una singola disciplina che rispetto a tutte le altre discipline oggetto di possibile interferenza.

Le attività che afferiscono all'individuazione e alla risoluzione dei clash possono essere ricondotte ad un processo ciclico, soprattutto nell'ambito di un progetto complesso caratterizzato dalla presenza di numerosi soggetti coinvolti, quale la realizzazione delle due *Major Stations* di Msheireb e di Education City oggetto del presente studio.

Questo processo ciclico e periodico è quindi caratterizzato da una sequenza di attività, il cui inizio, per semplificazione, può essere ricondotto all'implementazione (e successivamente all'aggiornamento) del modello; questo passaggio è infatti fondamentale e prodromico al processo ciclico della *clash detection*. All'aggiornamento del modello segue dunque un aggiornamento delle verifiche - *clash test* - sulla presenza di possibili conflitti.

Nelle linee guida di Qatar Rail è indicato l'utilizzo del software *Naviswork Manage*<sup>71</sup>

---

<sup>71</sup> *Naviswork Manage* è un software Autodesk utilizzato per la revisione e il controllo di modelli 3D,

quale strumento preferenziale per la gestione dei modelli afferenti alle diverse discipline e per l'esecuzione delle verifiche sulla presenza dei conflitti. Il software consente infatti un'ottimale gestione di numerosi file nativi, assolvendo quindi alla funzione di principale collettore per operazioni di coordinamento e verifica di numerosi modelli BIM; Naviswork è in grado di generare, in fase di conversione, dei modelli con estensione .nwc, notevolmente più leggeri e gestibili dei file originali, tali file possono quindi essere inseriti in un modello federato master .nwf, che verrà automaticamente aggiornato ogni qualvolta un singolo modello .nwc subirà le necessarie modifiche. Ogni test può poi essere salvato in un modello .nwd che di fatto cristallizza il processo di *clash detection* in un momento prestabilito, coincidente solitamente con la consegna o con un momento di coordinamento e verifica.

All'aggiornamento del *clash test* segue l'analisi dei risultati, con lo scopo di gerarchizzare i conflitti individuati e suddividerli per categorie; tale operazione potrebbe essere anche intrapresa o corretta manualmente qualora lo status generato automaticamente dal programma non dovesse coincidere con le aspettative di coordinamento in una determinata fase del progetto. Lo status dei conflitti è generalmente individuato, per immediatezza percettiva, da un elemento semaforico che va dal rosso (nuovo conflitto, individuato per la prima volta nell'analisi corrente), all'arancione (conflitto attivo, individuato nel corso di un'analisi precedente ma non ancora risolto), al ciano (conflitto rivisto, già evidenziato ma attualmente in corso di revisione), al verde (conflitto approvato, già evidenziato e approvato da qualcuno) per finire con il giallo (conflitto risolto, già evidenziato in precedenza ma non rilevato nell'attuale analisi).

---

in grado di aggregare e combinare in un unico modello dati provenienti da modelli differenti e consentendo perciò un efficace coordinamento nei progetti di *Building Information Modelling*. E' utilizzato prevalentemente nell'individuazione e nella risoluzione dei problemi causati da conflitti e interferenze in fase progettuale, nonché nel controllo dei costi e delle tempistiche di progetto grazie alle simulazioni 4D e 5D, grazie all'interazione con applicazioni di pianificazione e di stima economica.

Interferenze - Totale: 240 (Aperte: 240 Chiuse: 0)

Nome	Stato	Interferenze	Nuovo	Attivo	Rivisto	Approvato	Risolto
Verifica 1	Fine	240	240	0	0	0	0

Selezione A

Standard

- MX - MX Asbuilt models - Comments.mwd

Selezione B

Standard

- MX - MX Asbuilt models - Comments.mwd

*Illustrazione 78: Finestra di verifica delle interferenze rilevate nella clash detection relativa ai modelli As-Built del livello mezzanino della stazione di Msheireb (fonte elaborazione dell'autore su Naviswork Manage)*

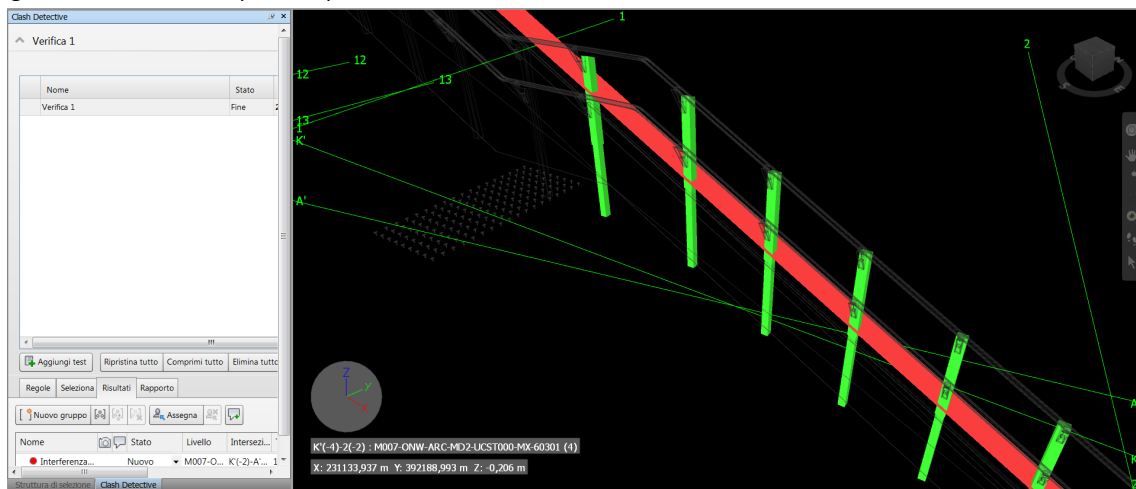
La fase di analisi dei risultati è caratterizzata inoltre dal tentativo di raggruppare i conflitti individuati per rilevanza, con lo scopo di rendere più agevole il coordinamento. In tale momento potremmo ad esempio raggruppare tutti i conflitti rilevati tra un determinato elemento strutturale e uno specifico elemento di finitura, in quanto la *clash detection* potrebbe evidenziare un numero consistente di interferenze generate di fatto da un unico problema di coordinamento, quale l'elemento di finitura posizionato non coerentemente o l'elemento strutturale non dimensionato secondo accordi. Il redattore del *clash test* potrà inoltre aggiungere dei commenti e delle note in modo da agevolare la discussione tra i revisori e ciascuna disciplina coinvolta.

In tale fase si procede inoltre con l'assegnazione dei conflitti, cioè tramite l'individuazione di chi sarà il responsabile e deputato alla risoluzione dell'interferenza.

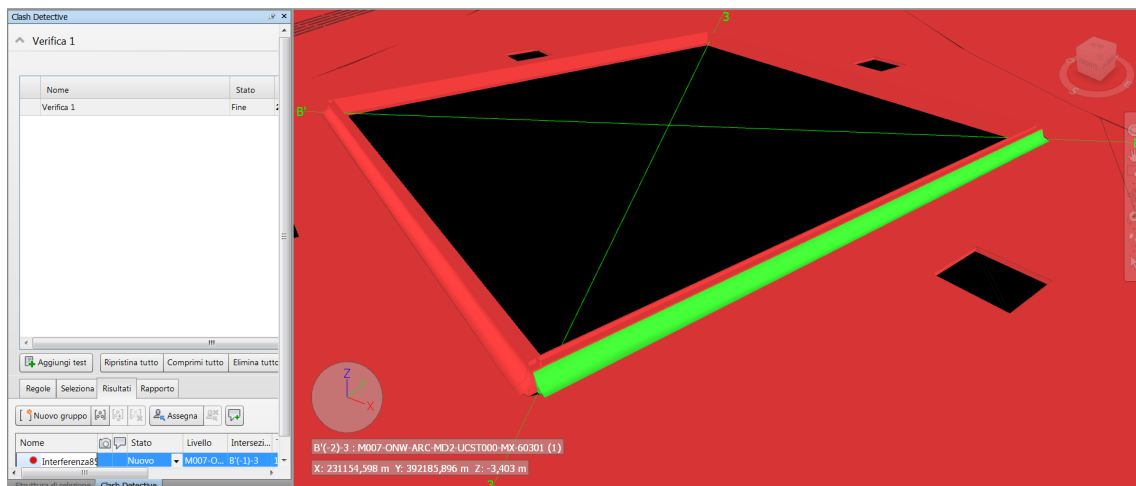
Una volta completata l'analisi dei risultati e l'assegnazione della risoluzione dei conflitti, si procederà alla pubblicazione dei clash report. Ogni referente per ciascuna disciplina (generalmente il *BIM Coordinatore*) riceverà il clash report



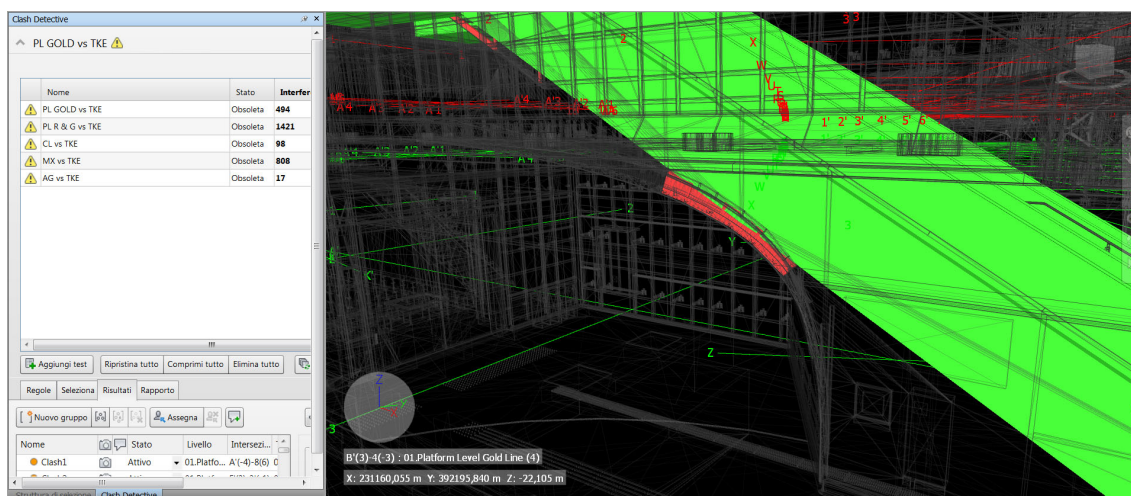
generato ad hoc per la parte architettonica, strutturale, meccanica o elettrica.



*Illustrazione 79: Esempio di interferenza rilevata tra due elementi della stessa disciplina (architettura), una compenetrazione tra i montanti dei corrimano delle scale e un carter metallico di rivestimento della scala mobile (fonte elaborazione dell'autore su Naviswork Manage)*



*Illustrazione 80: Esempio di interferenza rilevata tra due elementi della stessa disciplina (architettura), una compenetrazione tra lo zoccolino di chiusura in corrispondenza delle colonne e la finitura del pavimento in terrazza (fonte elaborazione dell'autore su Naviswork Manage)*



*Illustrazione 81: Esempio di interferenza rilevata tra un elemento architettonico, la sottostruttura di un escalator vault, e un elemento afferente agli equipment, la scala mobile (fonte elaborazione dell'autore su Naviswork Manage)*

Alla pubblicazione dei *clash report* segue generalmente l'indizione di una riunione di coordinamento, con lo scopo di discutere in merito ai conflitti rilevati e alle eventuali azioni da compiere.

Le riunioni di coordinamento svolte nell'ambito del progetto di *Major Stations* venivano indette dai *BIM Coordinator* del general contractor, con la presenza del *BIM Manager* o del *BIM Coordinator* di Qatar Rail, quale rappresentante del committente, e vi partecipavano preferibilmente i *BIM Coordinator* afferenti a ciascuna disciplina (architettura, strutture, impianti meccanici e impianti elettrici), quelli afferenti alle diverse discipline specialistiche o ai fornitori (impianti speciali, antincendio, facciate, rivestimenti esterni, etc.), nonché i progettisti di taluna disciplina chiamati a risolvere particolari interferenze che necessitino di un determinato coordinamento pluridisciplinare.

Le riunioni di coordinamento vengono seguite da un aggiornamento dei *clash report* secondo le decisioni intraprese e secondo eventuali assegnazioni decise durante il meeting.

Si procede infine alle modifiche e agli aggiornamenti dei modelli in accordo con le decisioni prese durante la riunione di coordinamento e con gli ultimi *clash report* pubblicati.

A questo punto il processo ciclico della *clash detection* ha nuovamente inizio attraverso un aggiornamento del *clash test* per verificare i modelli aggiornati delle

diverse discipline e individuare eventuali interferenze (nuove, attive, risolte, etc.).

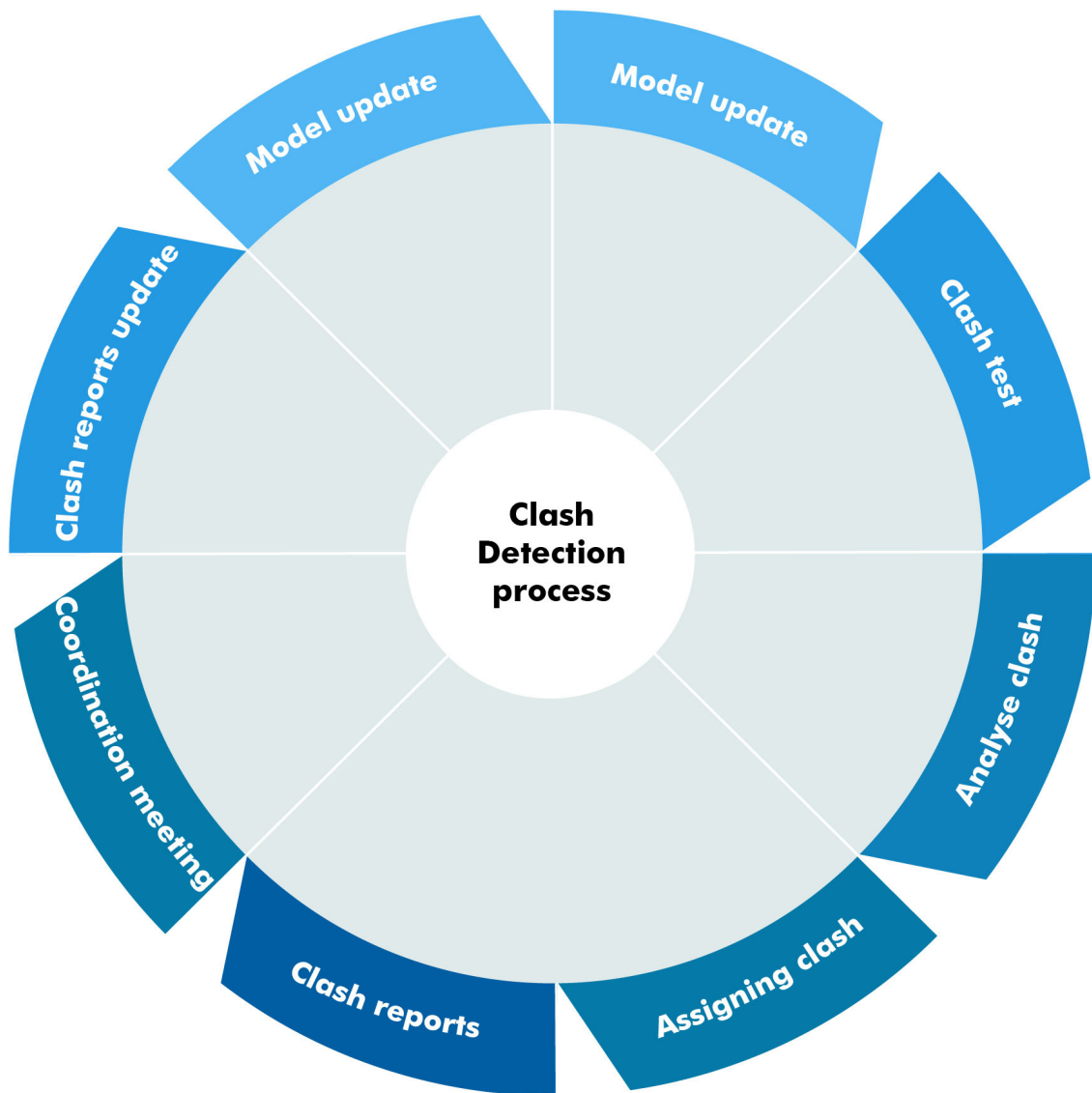


Illustrazione 82: Diagramma inerente il processo ciclico della clash detection (fonte Nonveiller 2019)

La *clash detection* rappresenta lo strumento di verifica, di analisi e di sintesi - con la pubblicazione dei *clash reports* - per attuare un efficace coordinamento avanzato tra discipline, evidenziando le possibili interferenze presenti e monitorando la risoluzione dei conflitti durante l'intero processo.

In un progetto complesso, quale la realizzazione delle due stazioni di Msheireb e di Education City, il coordinamento avanzato tra discipline attuato attraverso un processo ciclico di *clash detection* si è rilevato imprescindibile per poter garantire al committente tempi e costi certi. Lo strumento inoltre è stato fondamentale per

permettere di verificare, direttamente sul modello BIM, le incoerenze e il mancato coordinamento tra diverse discipline (architettura, struttura, impianti meccanici, impianti elettrici) ma anche all'interno della medesima disciplina, soprattutto laddove numerose lavorazioni o forniture erano state affidate a soggetti terzi, che rientrano quindi nel processo più generale di coordinamento attuato dal main contractor.

A questo proposito si pensi alle innumerevoli variabili e incoerenze che possono presentarsi tra una fase progettuale esecutiva, in cui ogni elemento è stato coordinato e le interferenze risolte, e la fase realizzativa, nella quale in ciascuna disciplina ogni elemento viene approfondito dal punto di vista costruttivo, tenendo quindi in considerazione eventuali nuove specifiche date dai fornitori o possibili ottimizzazioni tecnologiche da implementare. Lo stesso main contractor in fase costruttiva potrà selezionare alcuni nuovi fornitori per determinati elementi, i quali con buona probabilità proporranno un nuovo sistema costruttivo piuttosto che dispositivi con dimensioni differenti ma certamente ad un prezzo inferiore.

La metodologia BIM consente certamente di riscontrare ed evidenziare tali incoerenze in una fase di studio preliminare che dovrà necessariamente precedere i processi costruttivi del cantiere, ma senza figure professionali adeguate e senza avvalersi di processi organizzativi e gestionali efficaci anche il processo integrato può incepparsi, vanificando di fatto i già citati vantaggi in termini di tempi certi e costi controllati.

## 4.3 Complessità e cantiere: dal design parametrico alla costruzione

### 4.3.1 Le *complex geometries* e la realizzazione delle volte a partire dai modelli BIM costruttivi

Le strutture a volta delle stazioni della metro di Doha, elemento centrale e identificativo del brand per lo sviluppo dell'intera nuova rete infrastrutturale, seguono regole geometriche predeterminate che ben si adattano ad essere generate attraverso un processo progettuale computazionale gestito da algoritmi.

Nell'*Architectural Branding Manual* elaborato da UNStudio vengono definiti i criteri geometrici sottesi alla generazione delle curvature ottimali per gli ambienti voltati; di fatto, la curvatura delle volte, è determinata da cinque punti individuati quali elementi di controllo per la costruzione geometrica di base, definiti secondo l'altezza da terra e secondo la loro posizione relativa rispetto all'intero sviluppo lineare dell'elemento.

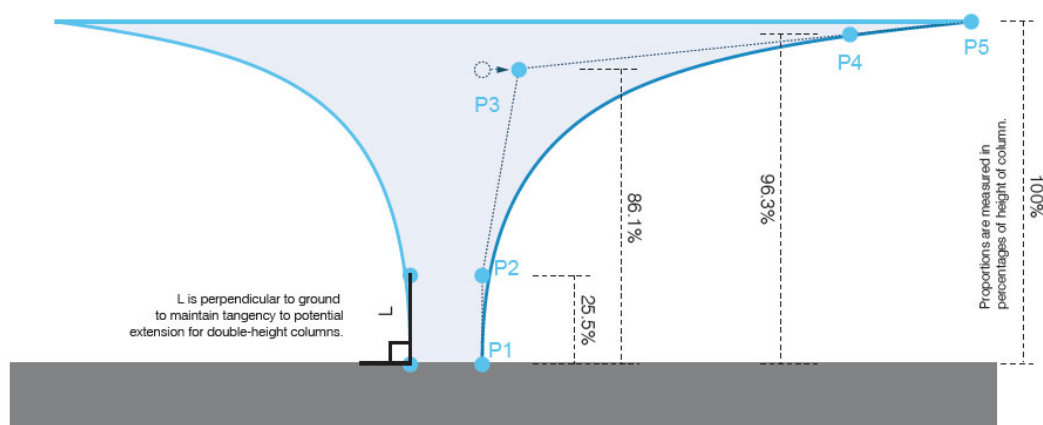


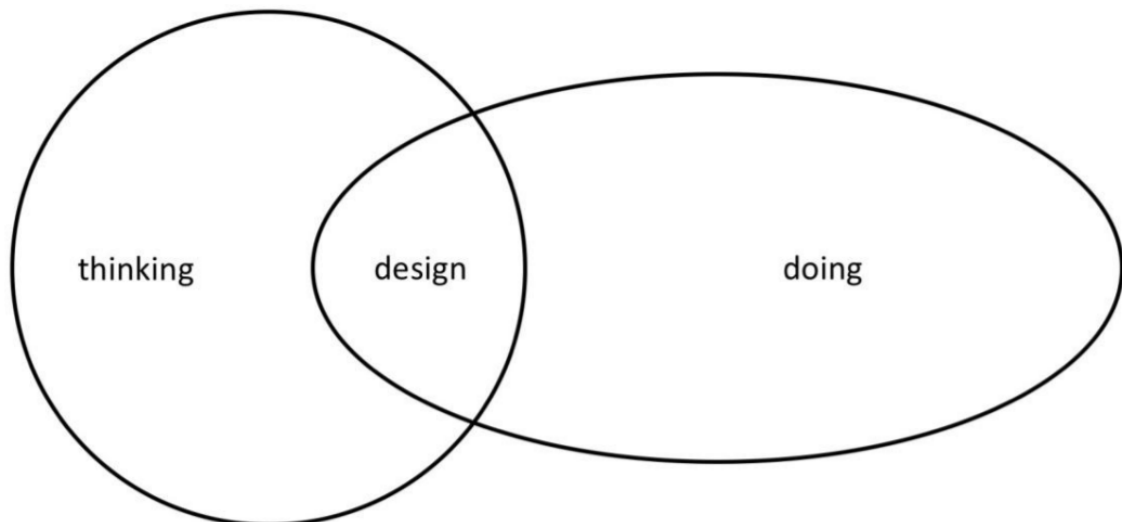
Illustrazione 83: Individuazione dei cinque punti per la generazione della curvatura di uno spigolo della volta (fonte UNStudio)

Durante la fase costruttiva delle due stazioni di Msheireb ed Education City, i vari modelli architettonici BIM, elaborati in fase design, sono stati progressivamente implementati e dettagliati in modo da incorporare il sistema costruttivo, tecnologico e strutturale impiegato dal costruttore e validato dal committente. In particolare, per quanto concerne le *complex geometries* relative alle finiture degli ambienti voltati, i modelli digitali, grazie al livello di dettaglio raggiunto (LOD 400), hanno consentito di facilitare il processo decisionale e costruttivo prodromico all'effettiva realizzazione

in cantiere e di fornire un supporto indispensabile per i tecnici e le maestranze coinvolte nel processo esecutivo.

L'approccio *model-oriented* ha consentito dunque, in prima istanza, di simulare e di verificare diverse possibili alternative in modo da facilitare e sostanziare la soluzione più coerente e maggiormente rispondente ai requisiti da soddisfare; successivamente, attraverso un approfondimento dell'attività di modellazione, ha permesso di generare, a partire dalle *complex geometries* (già precedentemente modellate in Rhinoceros), gli elementi strutturali da fabbricare attraverso un sistema di algoritmi creati in Dinamo.

Il *computational design*<sup>72</sup> ha permesso dunque di generare le sottostrutture primarie e secondarie necessarie al processo costruttivo degli ambienti voltati interni delle due stazioni.

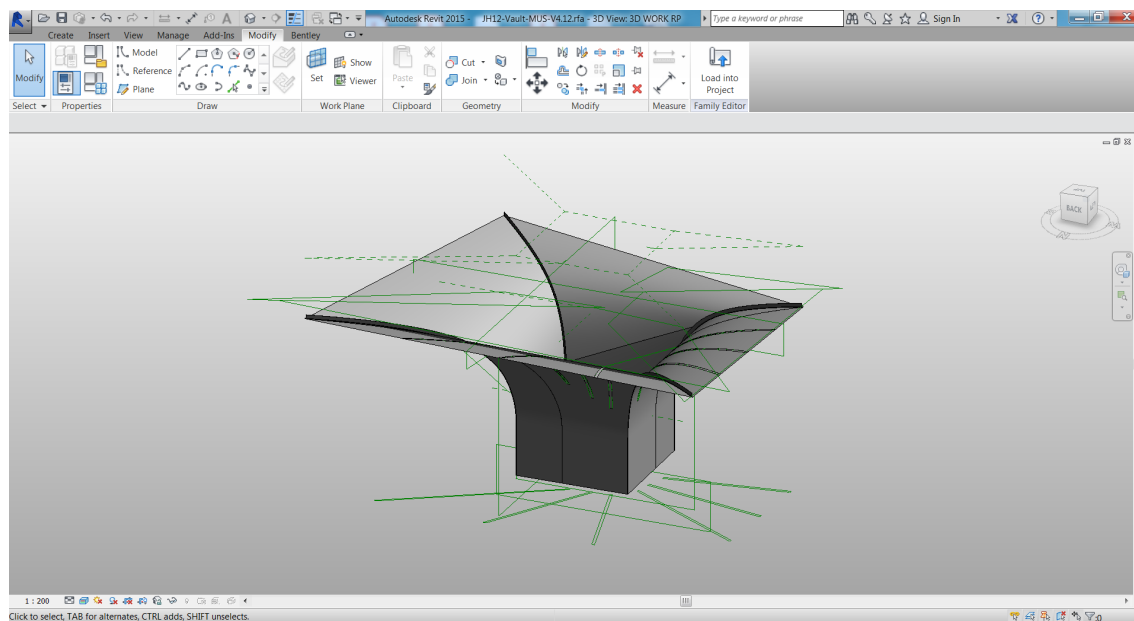


*Illustrazione 84: Il processo alla base del computational design secondo Peter J. Denning: "Computational thinking refers to a deliberative process that finds a computational solution for a concern. Computational doing refers to use of computation and computational tools to address concerns. Computational design refers to creating new computational tools and methods that are adopted by the members of a community to address their concerns" (fonte Denning, 2017)*

---

<sup>72</sup> Il *computational design*, mediante l'uso di algoritmi e processi intuitivi, consente la generazione automatizzata di forme complesse; "...*computational design is about using the algorithmic power of computer – through coding – to explore limitless iterations of forms, problem solving, very complex geometric calculations, and rationalization. The architectural application of this technology is very promising, changing the way architects are approaching form finding process and manufacturing*" (Fathy, Saleh e Hegazy, 2016).

Per illustrare il processo metodologico impiegato, si riporta qui di seguito la procedura descritta precedentemente nel caso specifico dell'elemento voltato V4.12, effettivamente realizzato al livello *Platform Gold* della stazione di Msheireb. La stessa procedura è stata applicata a tutte le 247 volte (*column vaults*, *downlight vaults*, *signage vaults* ed *escalator vaults*) presenti nella stazione di Msheireb e nella stazione di Education City; da questi numeri è intuibile quanto un processo automatizzato, sia in termini di modellazione che di fabbricazione, abbia consentito un notevole vantaggio in termini di tempi e di costi. Questo approccio ha inoltre consentito di impiegare un metodo costruttivo basato su di un elevato grado di prefabbricazione, gli *steel plate*<sup>73</sup> metallici (da posizionare negli spigoli degli elementi voltati) sono stati infatti prodotti in uno stabilimento dedicato, attraverso l'utilizzo di macchine a controllo numerico, e in seguito trasportati direttamente in cantiere per la successiva posa in opera. In pochi giorni sono stati dunque prodotti un gran numero di elementi, pronti per essere posizionati in cantiere, generati a partire dalle estrazioni 2D effettuate direttamente dai modelli BIM costruttivi.

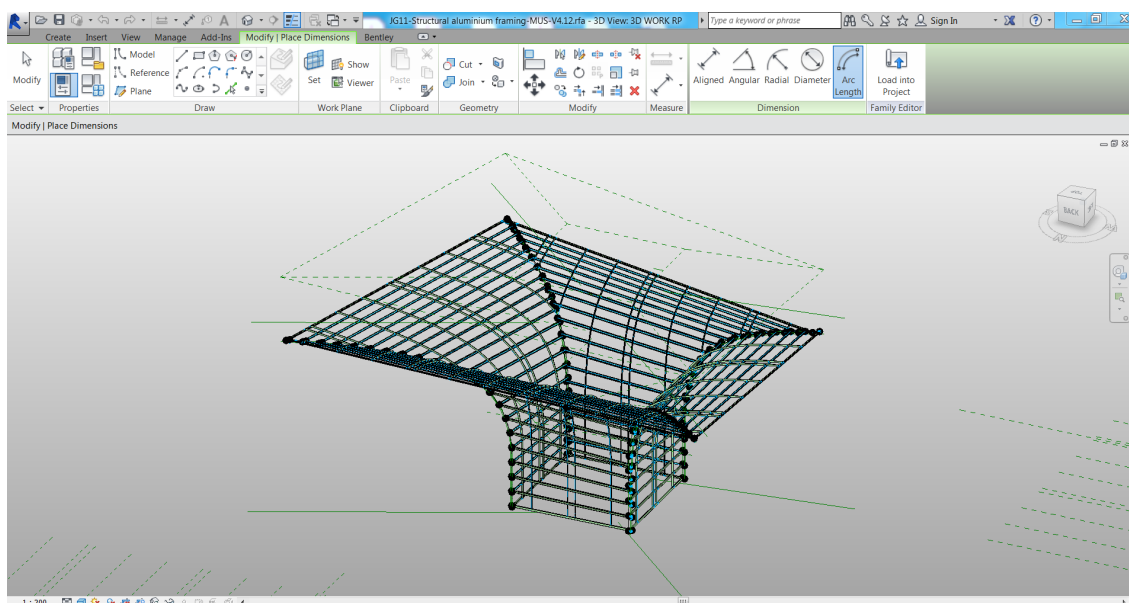


*Illustrazione 85: La famiglia di una column vault (V4.12): superfici di finitura e steel plate (profili metallici angolari) generati per essere fabbricati fuori opera tramite macchine a controllo numerico e successivamente installati in cantiere (fonte One Works)*

<sup>73</sup> Profili arcuati metallici la cui curvatura è definita dai 5 punti di controllo individuati nell'*Architectural Branding Manual*; gli *steel plate* sono stati posizionati negli spigoli di raccordo tra le diverse facce che costituiscono una volta.



La scelta dei profili metallici arcuati, generati a partire dagli spigoli posti tra le facce che costituiscono ogni singola volta, e dei profili metallici lineari di raccordo a seguire la curvatura di ogni singola faccia è stata dettata da una pluralità di fattori; certamente tra i vari aspetti tenuti maggiormente in considerazione, va ricordata innanzitutto la possibilità di ridurre considerevolmente possibili incidenti o errori in fase di montaggio in cantiere, trattandosi di un sistema costruttivo elementare costituito da profili metallici di facile reperimento, di sezione limitata e di peso ridotto, tale da consentire una movimentazione manuale dei carichi. Gli *steel plate* angolari fungono inoltre da guida per il posizionamento dei profili metallici lineari a sezione di omega (posti longitudinalmente tra due *steel plate*) e a sezione di C (posti trasversalmente a seguire la curvatura di ogni singola faccia), offrendo l'indubbio vantaggio di creare gli ambienti voltati come da intento progettuale, con un margine di errore inferiore al centimetro (nell'ordine di pochi millimetri). Attraverso questo sistema costruttivo si è potuta soddisfare la richiesta del committente di perseguire la massima rispondenza tra l'intento progettuale, espresso attraverso i modelli BIM, e l'effettiva realizzazione in cantiere, riducendo i tempi di esecuzione e limitando i possibili errori in fase di posa in opera.



*Illustrazione 86: La famiglia di una column vault (V4.12): le sottostrutture generate a partire dalle complex geometries di progetto per essere posizionate in cantiere tra gli steel plate, i profili a sezione di omega, e per seguire la curvatura di ogni singola faccia, i profili a sezione di C (fonte One Works)*

Gli *shop drawings*<sup>74</sup> sono stati generati ed estratti direttamente dai modelli BIM costruttivi, implementati con i diversi elementi strutturali e con i profili metallici dimensionati secondo il sistema costruttivo prescelto. Per quanto concerne gli ambienti voltati si è deciso di rappresentare le singole volte (*column vaults*, *downlight vaults*, *signage vaults* ed *escalator vaults*) come un elemento a sé stante, ciascuno individuato da un codice univoco alfanumerico dal quale desumere facilmente il tipo architettonico, il livello della stazione di riferimento e la localizzazione; il codice identificativo corrisponde a quello assegnato alla relativa famiglia caricabile nel modello digitale creato per ciascun elemento.

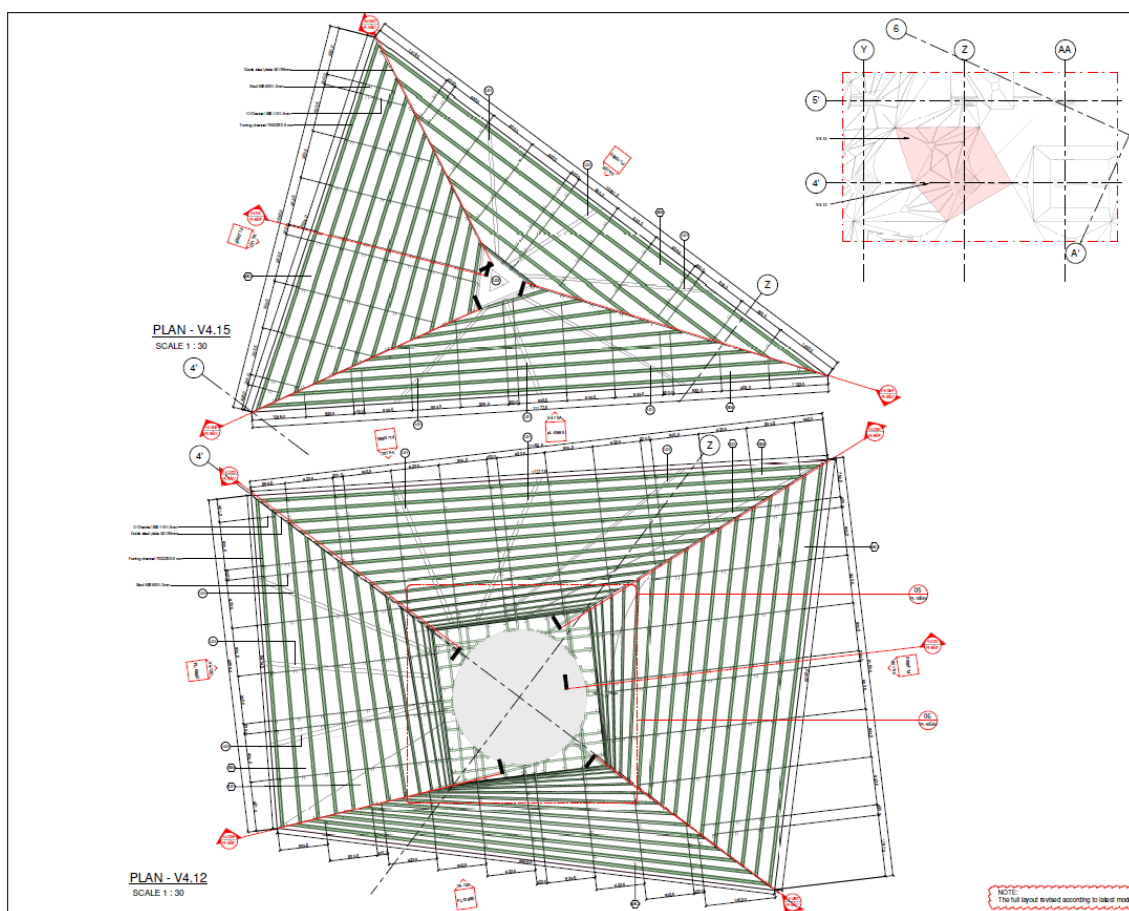


Illustrazione 87: Planimetria della volta V4.12 e del downlight V4.15: shop drawing (elaborato costruttivo in 2D) generato dal modello BIM delle volte e fornito al costruttore e al committente per la comprensione dei diversi elementi sottostrutturali da installare (fonte One Works)

74 Gli *shop drawings* sono i disegni costruttivi predisposti per condurre ed esplicitare il processo costruttivo prescelto, i materiali da utilizzare con le relative specifiche, i dettagli costruttivi da seguire durante l'installazione in cantiere, l'integrazione e il coordinamento tra elementi forniti da diversi fornitori; di fatto rappresentano il documento tecnico attraverso il quale il costruttore o il committente approvano e validano la soluzione presentata.

I disegni predisposti per committente e costruttore, relativi agli ambiti voltati, sono stati organizzati secondo diverse scale e metodi di rappresentazione, in modo da fornire le informazioni necessarie all'esecuzione e al montaggio seguendo un approccio costruttivo legato alle diverse fasi di installazione.

Le tavole planimetriche (una sezione orizzontale posta al di sopra del livello di finitura del soffitto) illustrano lo sviluppo in pianta di ogni singola volta, dal livello di pavimento alla quota voltata di finitura, così da evidenziarne l'assetto geometrico complessivo e la relazione tra i diversi elementi sottostrutturali e di finitura: *steel/plate* angolari, profili a sezione di omega e profili a sezione di C, a costituire ogni singola faccia della volta, luci lineari poste sulla finitura perlacea del pattern in piastrelle esagonali.

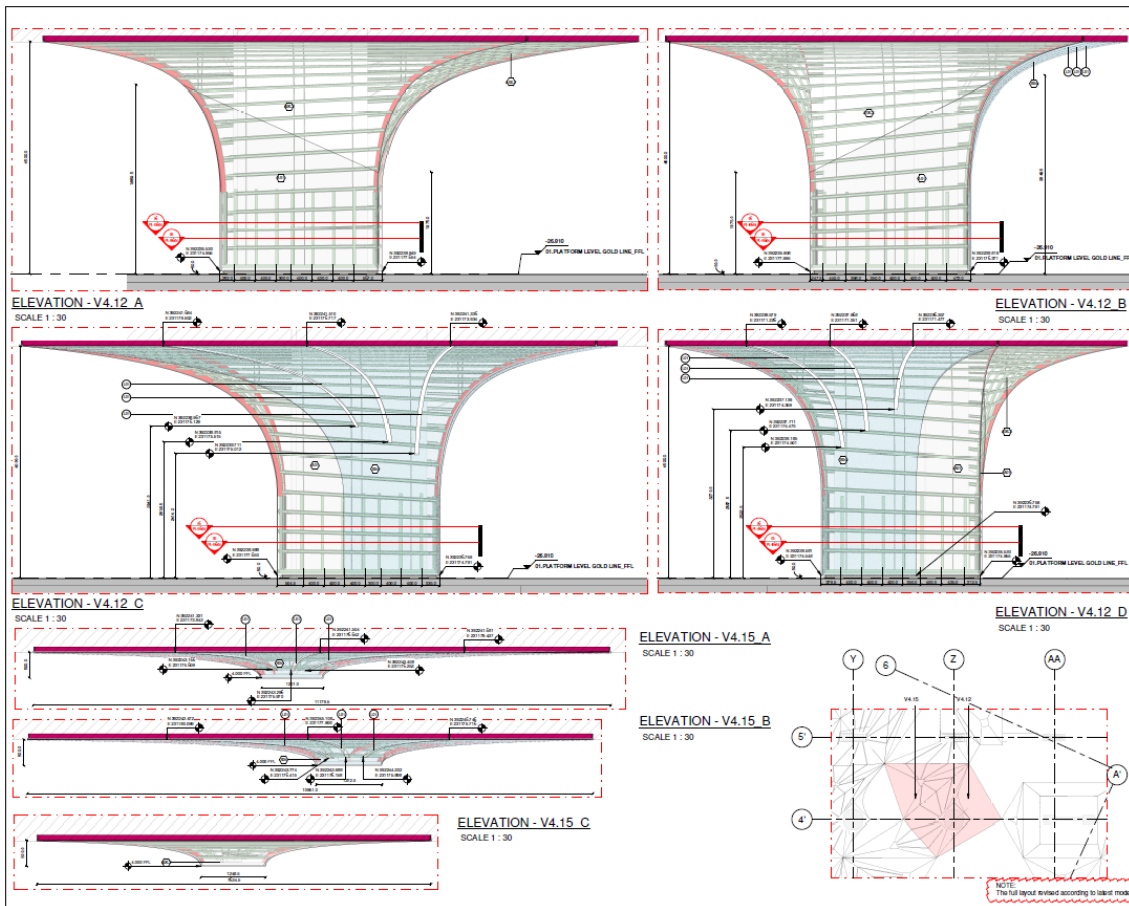


Illustrazione 88: Sviluppo dei 4 prospetti della volta V4.12 e del downlight V4.15: shop drawing generato dal modello BIM delle volte e fornito al costruttore e al committente per la comprensione della disposizione dei diversi materiali di finitura e delle luci lineari da installare (fonte One Works)

Le tavole relative ai prospetti illustrano lo sviluppo in elevazione di ogni singola volta, dal livello di pavimento alla quota superiore di finitura, così da mettere in evidenza la curvatura, le luci lineari (la cui installazione avviene grazie alle coordinate univoche e alle quote inserite in questo elaborato), i materiali di finitura di ogni singola faccia e le relative proporzioni (la parte basamentale delle *column vault* è finita in piastrelle esagonali perlacee o in pietra acrilica, materiali durevoli e inalterabili, mentre le parti superiori di alcune facce sono rivestite in intonaco fonoassorbente, in modo da limitare il riverbero e la rumorosità degli ambienti interni).

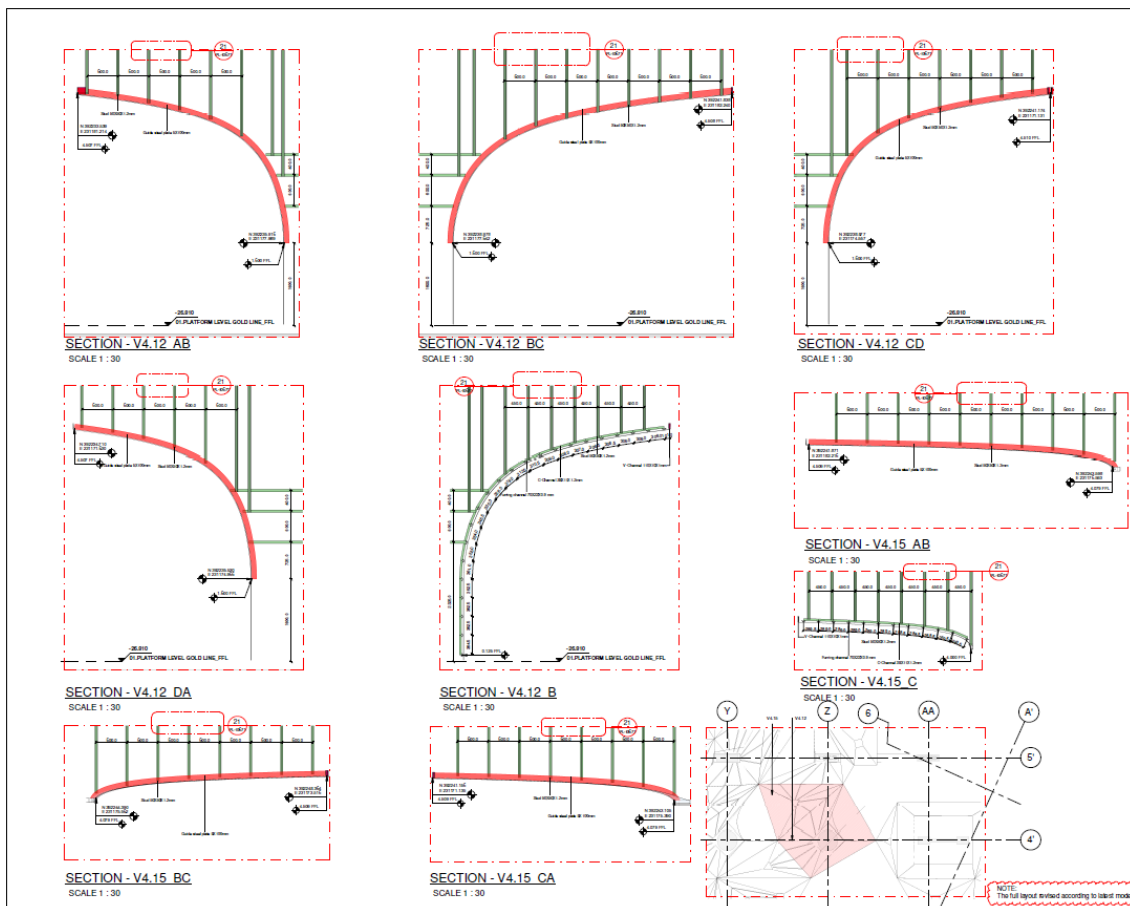


Illustrazione 89: Proiezione bidimensionale dei profili angolari metallici della volta 4.12 e del downlight V4.15: shop drawing generato dal modello BIM delle volte e fornito al costruttore e al committente per il corretto posizionamento nello spazio, tramite coordinate e quote, degli elementi sottostrutturali (fonte One Works)

Le tavole relative alle sezioni e allo sviluppo lineare dei profili angolari metallici forniscono una serie di informazioni indispensabili per il corretto posizionamento dei diversi elementi in cantiere, quali le coordinate univoche abbinata alle quote principali rispetto al livello di riferimento (replicabili e verificabili in cantiere tramite la stazione totale) e l'interasse tra i diversi profili verticali di ancoraggio alla soletta superiore in cemento armato. Ciò ha consentito alle maestranze coinvolte nell'installazione di riportare fedelmente le informazioni contenute nei modelli digitali costruttivi, e ai tecnici operativi di cantiere di controllare e verificare la rispondenza degli intenti progettuali durante tutto il processo esecutivo.

Le tavole relative alle sezioni di dettaglio illustrano il sistema di ancoraggio dei profili metallici alle strutture primarie in cemento armato, al livello basamentale delle *column vault*.

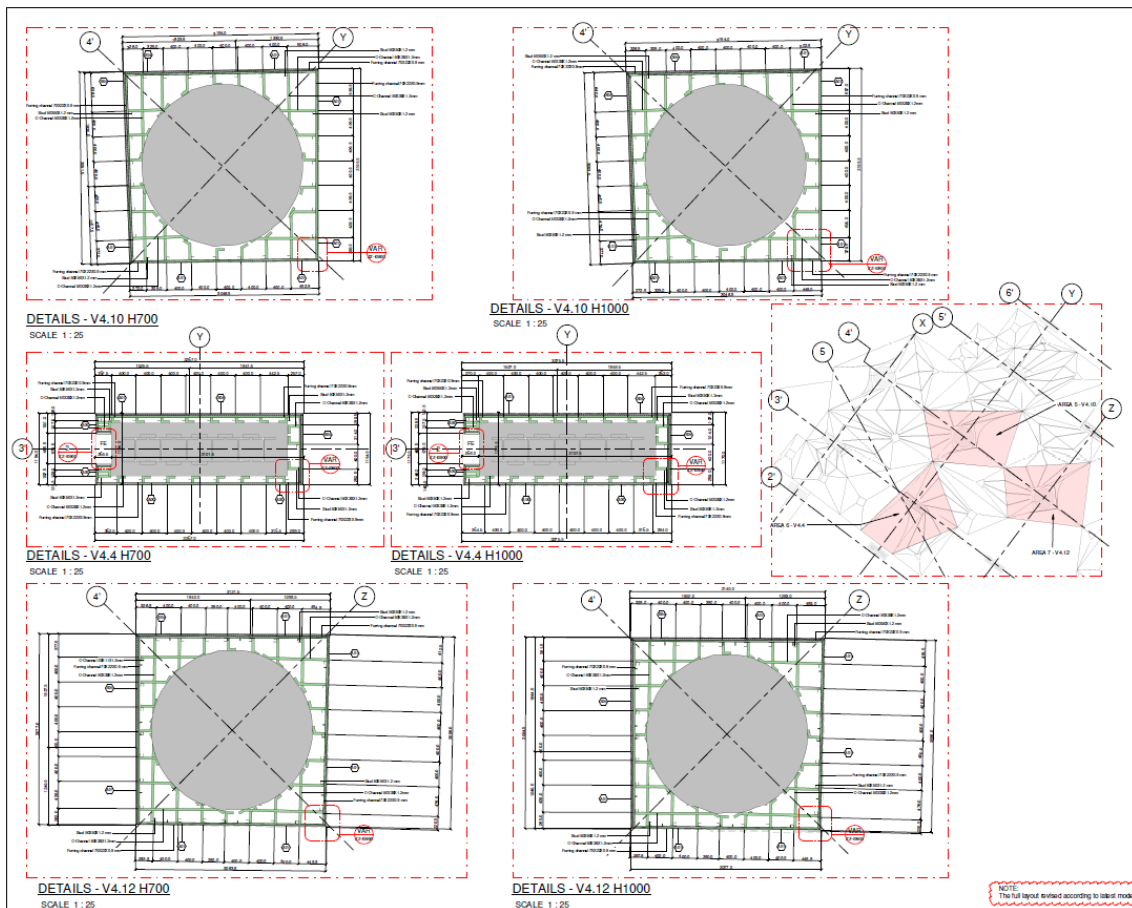
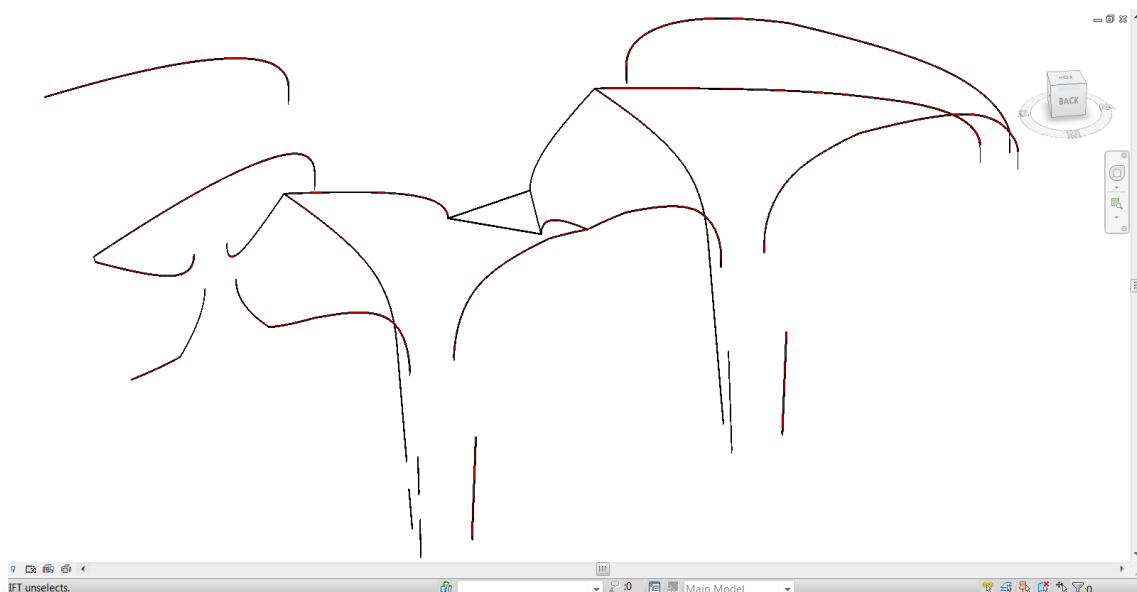


Illustrazione 90: Sezioni in pianta di dettaglio della volta V4.12: shop drawing generato dal modello BIM delle volte e fornito al costruttore e al committente per il fissaggio dei diversi elementi sottostrutturali alle strutture primarie in cemento armato (fonte One Works)



*Illustrazione 91: Vista 3D del modello BIM usato per la produzione degli steel plate, qui un' estrazione degli steel plates delle column vault a tripla altezza e dei downlight presenti al Grade level della stazione di Msheireb (fonte One Works)*

Tramite l'approccio *model-oriented* descritto in precedenza, attuato attraverso strumenti di modellazione parametrica afferenti al *computational design* e attraverso un livello di definizione e di dettaglio dei modelli BIM costruttivi molto accurato, è stato possibile agire attivamente per agevolare il processo costruttivo, supportare le maestranze in fase di realizzazione e non da ultimo supportare il processo decisionale dei diversi stakeholder, in primis il committente Qatar Rail, il main contractor e il fornitore, nonché il validatore.

In particolare, come già detto in precedenza, il sistema costruttivo sviluppato tramite la modellazione 3D è stato applicato nella realizzazione di tutti gli ambienti voltati presenti nelle stazioni di Msheireb e di Education City; si è trattato per la precisione di 247 elementi voltati di geometria complessa, ciascuno costituito da un sistema di elementi strutturali di sostegno (steel plates, profili a sezione di omega, profili a sezione di C e profili a sezione quadrata per l'ancoraggio alla soletta superiore in calcestruzzo) e di diverse tipologie di finiture superficiali. Ciascun elemento è costituito da un minimo di tre facce a geometria variabile (*downlight vault*) fino ad elementi costituiti da sei facce a geometria variabile (*column vault*).

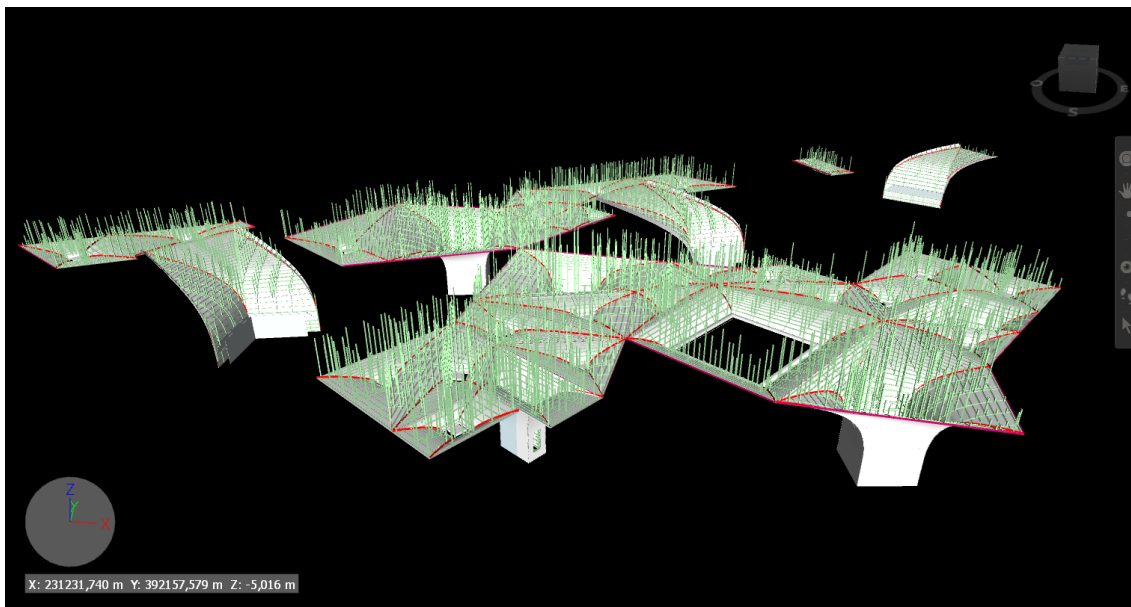
Si è trattato dunque di produrre, tramite l'ausilio di macchine a controllo numerico, circa 1.090 *steel plate* metallici di differente lunghezza e curvatura da posizionare ad altezze variabili negli spigoli di raccordo tra le diverse facce che costituiscono



ciascun elemento voltato. Tutto ciò è stato possibile grazie ad un elevato livello di automazione produttiva e grazie soprattutto all'interazione tra programmi e procedure di modellazione parametrica, che hanno consentito di realizzare 247 elementi voltati con un margine di errore e di discrepanza rispetto agli intenti progettuali davvero ridottissimo.

Un sistema costruttivo differente avrebbe comportato tempistiche di realizzazione notevolmente più lunghe, senza di fatto perseguire la completa aderenza all'intento progettuale richiesto dal committente. Altri sistemi costruttivi investigati non consentivano infatti di realizzare le geometrie complesse degli ambienti voltati così come da intento progettuale.

Il sistema scelto ha altresì permesso innanzitutto di ridurre in modo significativo i tempi di installazione, con notevoli benefici per i costi legati alla manodopera, ha consentito inoltre di ridurre notevolmente i costi di produzione, se paragonato con altri sistemi costruttivi esplorati; ulteriori vantaggi sono stati individuati nel garantire un'elevata flessibilità di montaggio, consentendo di garantire un pieno coordinamento con l'installazione di altri elementi impiantistici.



*Illustrazione 92: Vista 3D del modello BIM con gli elementi voltati di un lato del livello Platform Gold della stazione di Msheireb, si notano gli steel plate angolari rossi a definire la curvatura di ciascuna faccia, le sottostrutture e i pendini verdi per l'ancoraggio alla soletta in calcestruzzo e i materiali di finitura (fonte One Works)*



*Illustrazione 93: Foto di cantiere con la realizzazione del primo mock-up di un ambiente voltato al livello mezzanino della stazione di Msheireb, luglio 2017; si nota lo steel plate curvilineo al quale sono stati fissati i profili a sezione di omega per definire la curvatura della faccia della column vault (foto di Marco Nonveiller)*





*Illustrazione 94: Foto di cantiere con un ambiente voltato in fase di realizzazione al livello mezzanino della stazione di Msheireb, marzo 2018 (foto di Marco Nonveiller)*



*Illustrazione 95: Foto di cantiere con l'ambiente voltato a doppia altezza in fase di realizzazione del livello concourse della stazione di Msheireb, marzo 2018 (foto di Marco Nonveiller)*



*Illustrazione 96: Foto di cantiere con l'ambiente voltato a doppia altezza in fase di realizzazione del livello concorse della stazione di Msheireb, marzo 2018 (foto di Marco Nonveiller)*





*Illustrazione 97: Foto di cantiere in fase avanzata con l'ambiente voltato a doppia altezza del livello concourse della stazione di Msheireb, dicembre 2018 (fonte Qatar Rail)*



*Illustrazione 98: Foto di cantiere in fase avanzata con l'ambiente voltato a tripla altezza tra livello concourse, mezzanino e at grade della stazione di Msheireb, dicembre 2018 (fonte Qatar Rail)*



## **5. BIM standard e *guidelines***

### **5.1 Il modello di riferimento impiegato nel progetto della metro di Doha**

Qatar Rail ha elaborato delle linee guida BIM (*Qatar Rail BIM Guidelines – QRBG<sup>75</sup>*) a supporto dell'intero processo di progettazione e di realizzazione della metro di Doha. Le linee guida di Qatar Rail definiscono il *Building Information Modelling* come una metodologia utilizzata per produrre la completa progettazione e costruzione, nonché per produrre soluzioni operative; di fatto un catalizzatore in grado di trasformare i processi ingegneristici ed economici alla base dell'industria delle costruzioni. Si sottolinea inoltre la centralità del modello informativo all'interno dei processi di progettazione, di costruzione ed infine di gestione.

Il *Building Information Modelling* viene identificato come un processo che pone al suo centro le informazioni alle quali contribuiscono i diversi progettisti, questi infatti non solo si occuperanno di progettare relazioni spaziali ma anche di attribuire informazioni tecniche alle geometrie degli elementi fisici da realizzare.

Ciò consente agli attori del processo di accedere ad informazioni coordinate da poter utilizzare per diversi scopi.

L'intento delle linee guida elaborate da Qatar Rail è dunque quello di definire e strutturare le informazioni da attribuire al modello, in modo che le stesse informazioni possano essere interrogate e categorizzate in modo efficace.

L'obiettivo dell'implementazione delle linee guida BIM è innanzitutto connesso con il garantire una coerenza omogenea e definita a tutti i progetti da realizzare nell'ambito della realizzazione della nuova metro di Doha, sia in termini di informazioni contenute nei modelli sia in termini di procedure da soddisfare per l'implementazione dei modelli stessi.

Le linee guida, costituite da una molteplicità di documenti, in particolare definiscono le procedure per la creazione dei modelli, i processi che devono essere seguiti nell'implementazione dei modelli e le procedure che le imprese dovranno mettere in atto durante la stesura del progetto; rispetto a questo ultimo punto è definito inoltre il piano delle comunicazioni e delle procedure che le diverse imprese dovranno tenere con il committente Qatar Rail e con i consulenti tecnici PMC (*Project Management Consultants*).

Il sistema delineato da Qatar Rail è inoltre rivolto a tutti i soggetti che si occuperanno del processo progettuale e costruttivo della metro; una platea eterogenea costituita da professionisti, società di progettazione, imprese di

---

<sup>75</sup> Le linee guida sono state redatte da Qatar Rail con la consulenza esterna di Autodesk.

costruzioni, fornitori e consulenti, ciascuno con differenti esperienze nel metodo progettuale afferente al *Building Information Modelling*.

L'intento di Qatar Rail è quindi quello di costruire e definire un quadro comune a cui tutte le organizzazioni dovranno necessariamente uniformarsi in termini di qualità, di struttura e di coerenza delle informazioni da implementare nei modelli BIM; in questo modo i risultati attesi saranno maggiormente prevedibili e affidabili nella sostanza.

Le *Qatar Rail Building Information Modelling Guidelines* definiscono inoltre informazioni dettagliate su cosa dovrà essere implementato in ciascuna fase progettuale, in particolare: i contenuti richiesti nell'implementazione dei modelli, il livello di accuratezza dei modelli stessi, il flusso di lavoro dei gruppi di progettazione per ciascuna disciplina, l'impostazione del progetto, i processi di utilizzo del BIM e i requisiti specifici per ciascuna consegna.

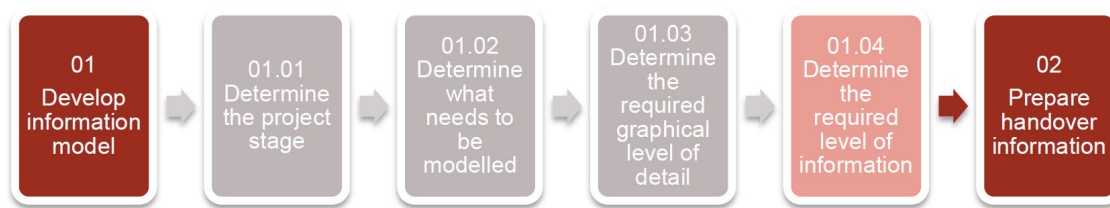


Illustrazione 99: Processo di creazione del modello (fonte QRBG)

Qatar Rail indica inoltre le specifiche dei modelli e gli elementi che dovranno essere presenti ad ogni livello progettuale, in particolare in ciascuna fase<sup>76</sup> dovranno includere elementi di architettura, strutture, impianti meccanici, impianti elettrici, impianti idraulici, sistemi antincendio e sistemi, per ciascuna fase definisce l'eLOD (*Element Level of Detail*) richiesto, la lista di informazioni standard che dovranno essere attribuite a ciascun elemento nonché la lista dei campi da inserire come supporto agli usi del BIM 4D (sequenze temporali) e della *clash detection*.

Qatar Rail distingue tra iLOD (*Information Level of Detail*) e eLOD (*Element Level of Detail*); il primo requisito è inerente alle informazioni necessarie e ai contenuti richiesti da aggregare agli elementi presenti nel modello, il secondo requisito invece

---

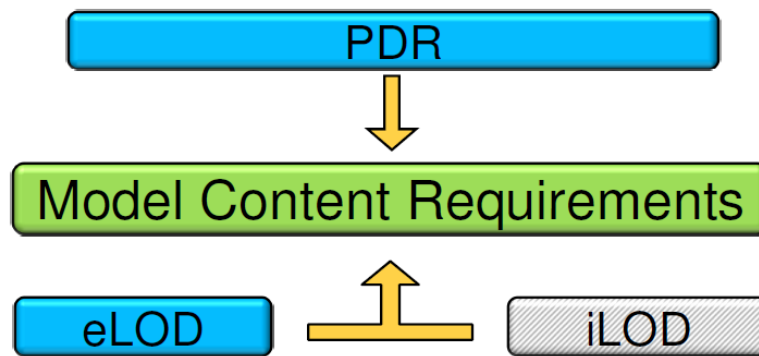
<sup>76</sup> Le diverse fasi progettuali previste da Qatar Rail sono DD1 Civils (Civil Detailed Design Stage 1), DD2 Civils (Civil Detailed Design Stage 2), M1 (Concept Phase), M2 (Preliminary Design), M3 (Detailed Design), M4 (Construction Design) e As-Built.

rappresenta il livello richiesto per la presentazione grafica 2D e 3D per ciascuna categoria di elementi che costituiscono il modello stesso.

L'iLOD consente di definire i requisiti informativi e il livello di informazioni che il modello dovrà contenere in ciascuna fase progettuale.

L'eLOD rappresenta una sorta di catalogo in grado di condurre la modellazione attraverso la corretta definizione, precisione e livello di accuratezza a cui ciascun elemento dovrà tendere.

Qatar Rail ha redatto un catalogo eLOD fruibile ai diversi modellatori coinvolti nel processo progettuale, con l'intento di fornire una descrizione visuale di come i diversi elementi presenti in un determinato modello debbano essere trattati e approfonditi. Tale strumento operativo appare di fondamentale importanza nella gestione di un progetto così vasto quale la realizzazione di tutte le stazioni afferenti alla metro di Doha.



*Illustrazione 100: Gli apporti quali requisiti preferenziali alla definizione del contenuto del modello: PDR - Project Development Requirements, eLOD e iLOD (fonte QRBG)*

Il PDR - *Project Development Requirements*, nelle linee guida di Qatar Rail, stabilisce il livello di maturità complessivo che il progetto dovrà perseguire e soddisfare in ciascuna fase di consegna. L'obiettivo di definire il PDR risiede nello stabilire per ogni fase progettuale dei requisiti coerenti a cui il progetto dovrà necessariamente ottemperare. Ciò potrà garantire il committente rispetto ad uniformare il livello richiesto per ciascuna consegna afferente a diversi progetti, con il fine di monitorare in modo più efficace l'andamento delle diverse fasi e predisporre dei materiali coerenti per le successive fasi progettuali.

Le linee guida sulle procedure BIM predisposte da Qatar Rail si addentrano in modo specifico sui diversi requisiti qui accennati, fornendo template e documenti schematici da poter utilizzare per l'implementazione dei modelli informativi secondo



le indicazioni previste per ciascuna consegna afferente a diversi fasi progettuali. L'intento della visione d'insieme offerta in questo capitolo vuole fornire una prima comprensione rispetto alle procedure e ai processi messi in campo dallo stesso committente per la gestione e la realizzazione di un progetto infrastrutturale complesso, al quale hanno preso parte numerose imprese di costruzione, importanti società e studi di architettura e ingegneria, con differenti specializzazioni, nonché molteplici fornitori e consulenti provenienti da diverse parti del mondo. Appare dunque significativo ed esemplare il lavoro approntato da Qatar Rail nel perseguire la coerenza di metodologie e procedure nella gestione dell'intero processo di realizzazione della nuova metro di Doha.

Il processo del *Building Information Modelling*, per essere efficace, organizzato e consentire un proficuo coordinamento tra discipline, necessita infatti di procedure chiare e definite, a cui ciascun attore coinvolto è tenuto ad ottemperare attraverso la condivisione di dati e informazioni strutturare secondo standard codificati e noti fin dall'inizio del processo.

## 5.2 COBie: le informazioni operative per i piani di manutenzione nelle linee guida di Qatar Rail

Le informazioni operative relative alle procedure di manutenzione vengono diffuse attraverso la trasmissione del file COBie (Construction Operations Building information exchange<sup>77</sup>). COBie è un insieme strutturato di dati, basato su standard informativi contenuti in un modello BIM che vengono raggruppati in un foglio di calcolo secondo diverse schede.

I dati estratti sono relativi ad informazioni operative e di manutenzione, nonché ad informazioni più generali sulla gestione delle strutture. Questa procedura rappresenta oggi il sistema più utilizzato per il settore del *facility management* e delle manutenzioni operative da effettuare durante la fase di esercizio di un intervento.

L'implementazione dei modelli BIM con i dati informativi COBie può avvenire nelle diverse fasi progettuali, ma generalmente vengono definiti in modo più completo durante la fase As-Built, per ovvie ragioni di maggior rispondenza del modello a quanto effettivamente eseguito, soprattutto per quanto concerne la componente impiantistica.

COBie delinea un metodo standard per la raccolta delle informazioni necessarie durante il processo di progettazione e di costruzione. Le informazioni diventano parte del pacchetto che viene consegnato al committente, durante la messa in esercizio e ad opera completata.

I dati informativi vengono aggiunti dapprima dai progettisti durante lo sviluppo del progetto e in seguito dagli appaltatori per ciascuna disciplina durante la costruzione dell'edificio.

Un file COBie contiene informazioni su di una singola struttura e sui suoi componenti sottostanti, disposti secondo un format prestabilito, rappresentato da un file excel strutturato secondo diversi fogli di calcolo; alcuni di questi fogli dovranno essere compilati dal contractor solamente al completamento dell'appalto. Sebbene le informazioni nei fogli di lavoro possano essere popolate manualmente, la procedura più efficace è quella di utilizzare un software in grado di estrarre informazioni dai modelli BIM (che dovranno dunque essere implementati dei dati e delle informazioni necessari), attraverso lo standard IFC, per consentire di sistematizzare e di conservare i dati COBie.

---

<sup>77</sup> COBie – Construction Operations Building information exchange è uno standard di dati sviluppato a partire dal 2007 dall'esercito degli Stati Uniti, legato ai processi pertinenti il ciclo di vita degli edifici.

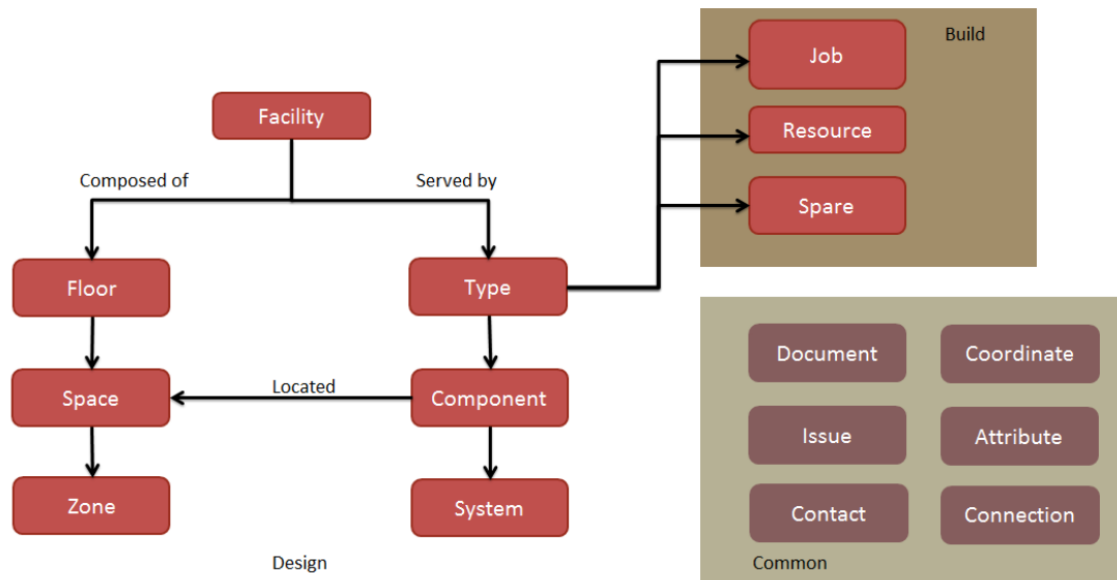


Illustrazione 101: Relazione generale tra i diversi fogli di lavoro del modello COBie applicato da Qatar Rail nel processo di realizzazione della metro di Doha (fonte QRBG)

I dati COBie richiedono l'identificazione univoca di uno spazio con il fine di posizionarvi i relativi componenti e definirne l'esatto ubicazione. Uno spazio è definito come aree o volumi che forniscono determinate funzioni all'interno di un edificio (una struttura) e un piano di un edificio (un livello) che ha un'elevazione e in genera rappresenta un'aggregazione orizzontale di spazi, anche se questi sono normalmente disposti verticalmente.

I dati informativi presenti nello standard COBie rimandano dunque, attraverso dei codici univoci, a degli spazi fisici dell'intervento identificati secondo l'edificio (la stazione di riferimento nel caso della metro di Doha), il livello (inteso come identificazione del piano), la zona (identificata attraverso le room, la funzione stessa di un locale) e la tipologia di apparecchiatura (ad esempio unità fan coil dell'impianto dell'aria condizionata).

Qatar Rail richiede che per ciascun modello BIM in consegna venga allegato il relativo file COBie.

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	FloorName	Description	System	Object	Identifier	RoomTag	UnitHeight	Coordinate	Volume
0-R01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Abution Room - Public - Female	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	44.19	44.19
0-R02	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Abution Room - Public - Male	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	47.4633	47.4633
0-L01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Corridor	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	175.37	175.37
0-C01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Waiting Area - Families	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
0-C02	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Waiting Area - General	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
0-C03	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Waiting Area - VIP	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
0-E01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	AG	Main Entrance	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	180.5	180.5
A-R01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Chilled Water Plant Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	45.8267	45.8267
A-R02	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Chilled Water Pump Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	45.8267	45.8267
A-R03	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Electrical Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	45.8267	45.8267
A-R04	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Cleaners Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	45.8267	45.8267
A-R05	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Plant Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	45.8267	45.8267
A-R06	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Plant Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	47.4633	47.4633
A-C01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	BL	Mechanical Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	175.37	175.37
1-C01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Customer Service Centre and Information Desk	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.0992	75.0992
1-C02	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Waiting Area - Families	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
1-C03	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Waiting Area - General	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
1-C04	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Waiting Area - VIP	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	75.43	75.43
1-R01	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Toilet - Accessible - Public - Male	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	93.29	93.29
1-R02	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Toilet - Accessible - Public - Female	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	93.29	93.29
1-R03	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	AHU Plant Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	91.6533	91.6533
1-R04	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Cleaners Room	Autodesk	Spaces	250dce96	n/a	n/a	44.6775	44.6775
1-R05	qatarraill@qr.com.qa	04/08/2016 12:53	n/a	PL	Station Control Room	Autodesk	Spaces	94fdee2	n/a	n/a	1103.48	1103.48

Illustrazione 102: Esempio di riferimento del format del foglio di calcolo del file COBie, qui in particolare la scheda relativa agli spazi (fonte QRBG)

I colori identificativi del format COBie predisposto da Qatar Rail indicano differenti procedure e dati desunti da diverse fonti: le celle gialle devono necessariamente essere compilate; le celle arancioni indicano un dato compilato automaticamente e relativo ad un altro foglio di calcolo; le celle viola indicano i dati che dovranno necessariamente essere compilati in modo automatico con i dati desunti dagli elementi presenti nel modello virtuale; le celle verdi indicano alcuni campi opzionali, da completare unicamente se espressamente specificato da Qatar Rail.

La maggior parte degli attributi iLOD inseriti nei modelli BIM sono direttamente mappati e collegati agli standard COBie (Qatar Rail si rifà allo standard COBie UK 2012 v2.4), ciononostante alcuni attributi devono essere definiti dall'utente e non sono inclusi nel format standard.

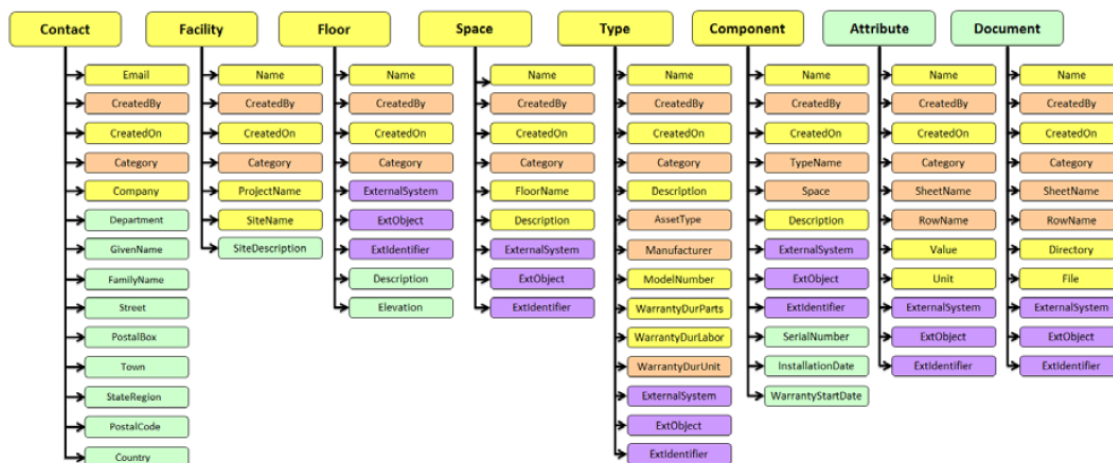


Illustrazione 103: Schema generale inerente le diverse schede all'interno del foglio di calcolo di un file COBie e le rispettive colonne che dovranno essere compilate, anche automaticamente mediante l'importazione di dati informativi (fonte QRBG)

Qatar Rail ha predisposto inoltre un sistema per gestire la manutenzione in fase di esercizio, denominato MMS – *Maintenance Management System*; questo sistema è strettamente interrelato con i fogli di lavoro COBie, in quanto attributi e informazioni vengono scambiate reciprocamente in modo automatico. Ogni elemento inserito nel sistema MMS dovrà avere un codice identificativo della posizione (corrispondente al codice univoco di ciascuna stazione), una descrizione e un numero identificativo dell'articolo; il codice identificativo della stazione e il numero identificativo dell'articolo corrisponderanno a quanto presente nei file COBie già predisposti.

Le linee guida di Qatar Rail illustrano quindi le procedure da applicare per impostare nel modo più appropriato i dati informativi secondo lo standard COBie; il riferimento è alla dimensione del BIM 6D che attiene alla fase in cui l'intervento entrerà in esercizio, quindi alle procedure di *facility management*, di manutenzione e di gestione operativa. Lo standard COBie è di fatto lo strumento che permette di scambiare informazioni desunte dai modelli BIM implementati per la realizzazione del progetto e trasferirli in un format di calcolo utile per la gestione e la manutenzione dell'intervento costruito. Il COBie presenta dunque una struttura di dati informativi standardizzata utile per le operazioni di gestione e di manutenzione che caratterizzeranno la fase di esercizio.

## 6. Conclusioni

Il lavoro di ricerca intrapreso si è focalizzato sui processi integrati propri del *Building Information Modelling*, qui inteso come processo metodologico complesso, in grado di apportare profonde innovazioni nel settore delle costruzioni. Si è tentato di evidenziare i benefici e gli apporti dati da questo processo integrato, attraverso l'analisi dell'approccio multidisciplinare e collaborativo al progetto, con notevoli ripercussioni in tutte le diverse fasi afferenti al ciclo edilizio.

Le dimensioni del BIM, così come definite dalla norma UNI 11337:2017, vengono qui intese come componenti cicliche all'interno di un flusso processuale integrato, dalla dimensione spaziale della modellazione multidisciplinare alla dimensione temporale della pianificazione e della programmazione, dalla dimensione economica della stima dei costi e delle quantità alla dimensione gestionale del *facility management*, per chiudere con la dimensione sostenibile del *life cycle assessment* che abbraccia l'intero ciclo di vita dell'intervento, dalle verifiche preliminari sulle soluzioni più opportune dal punto di vista energetico al processo di riutilizzo o di riciclo rigenerativo in fase finale.

Si è deciso inoltre di esaminare e di verificare tale processo integrato in un caso studio emblematico ritenuto di notevole rilevanza, la nuova metro di Doha in Qatar, uno dei più significativi progetti infrastrutturali attualmente in fase di realizzazione, in cui l'intero processo progettuale e costruttivo, dall'ideazione alla realizzazione, è stato concepito e sviluppato attraverso l'impiego del *Building Information Modelling*. In particolare, si è analizzato dapprima l'approccio metodologico inerente il design dell'intera rete metropolitana, sviluppato attraverso la stesura di un manuale - *Architectural Branding Manual* elaborato da UNStudio per Qatar Rail - da applicare nella progettazione delle diverse componenti dell'intera metro (rete, linee e stazioni); in seguito ci si è soffermati sul processo costruttivo e realizzativo delle due *Major Stations*, le stazioni di Msheireb e di Education City, verificando, in un caso noto e nel quale si è stati coinvolti direttamente, i processi di coordinamento avanzato tra discipline in fase costruttiva e l'applicazione del *computational design* e del design parametrico alla realizzazione degli ambienti voltati (le *complex geometries*) a partire dai modelli BIM costruttivi, seguendo dunque un approccio *model-oriented* per consentire effettivi benefici sui processi decisionali e costruttivi in fase di realizzativa.

La ricerca ha tentato dunque di considerare e di investigare il BIM, inteso come *Building Information Modelling*, in un'accezione più ampia del mero strumento di modellazione tridimensionale; questo piuttosto è stato trattato come un processo

complesso e articolato fatto di procedure, di metodi prestabiliti e di pratiche, strutturate secondo prassi collaborative e di condivisione che pongono dunque il modello informativo al centro della questione.

L'analisi e la verifica degli assunti metodologici su di un caso reale di studio ha consentito inoltre di mettere in costante relazione le procedure, i metodi e le pratiche, ritenute centrali nel processo investigato, con un progetto significativo e in corso di realizzazione, riconosciuto dalla letteratura, al quale si è potuto partecipare per un lungo periodo di tempo durante lo sviluppo della ricerca di dottorato.

Ciò ha permesso inoltre di approfondire i processi gestionali e le procedure operative messi in campo dal committente, Qatar Rail, nella conduzione e nel coordinamento di un progetto complesso quale la realizzazione della nuova metro di Doha, di cui appunto le due *Major Stations* rappresentano i nodi principali; rispetto a questo aspetto, potrebbe essere interessante approfondire a fini scientifici ulteriori casi emblematici ritenuti analoghi o comparabili a quanto realizzato in Qatar, in termini di standard e di procedure messi in atto per la gestione di processi afferenti ad un progetto complesso, quale appunto la realizzazione di un nuovo sistema di trasporto pubblico.

Si ritiene che i risultati ottenuti siano conformi agli obiettivi prefissati, soprattutto in considerazione dell'applicazione diretta e della verifica dell'approccio *model-oriented* sotteso al metodo BIM in un caso reale e tangibile. Ciò ha consentito di dimostrare i metodi e le prassi proprie di un processo integrato gestito interamente tramite il *Building Information Modelling*. Attraverso l'approfondimento del caso emblematico relativo alla realizzazione degli ambienti voltati costituiti da geometrie complesse, si è voluto dimostrare quanto il metodo BIM possa incidere positivamente all'interno dei processi decisionali, economici e operativi; i vantaggi apportati sono stati appunto notevoli, sia in termini di supporto alla scelta in fase decisoria, tramite la simulazione di una situazione reale, sia in termini di riduzione dei tempi e dei costi (di produzione, di montaggio e di realizzazione).

Alla luce dei risultati ottenuti, ulteriori e nuove prospettive potrebbero essere rappresentate, come già accennato in precedenza, dall'approfondimento di ulteriori procedure e buone pratiche messe in atto per la gestione di processi afferenti alla realizzazione di progetti complessi tramite l'impiego del metodo sotteso al *Building Information Modelling*.

Restando nel caso emblematico di realizzazione della metro di Doha, ulteriori sviluppi di ricerca potrebbero essere rappresentati dall'approfondimento di ulteriori elementi, oltre alle già citate geometrie complesse, nei quali l'adozione di procedure parametriche ha permesso e consentito di agevolare il processo costruttivo reale o



l'installazione e la messa in opera.

Un ulteriore ambito di ricerca potrebbe essere rivolto in particolare all'*Architectural Branding Manual* predisposto da UNStudio, riconosciuto quale lo strumento operativo preferenziale per delineare e illustrare la visione che sottende all'intero progetto della nuova metro di Doha; in grado quindi di definire i principi e tutti i diversi elementi che caratterizzano le stazioni e le linee della nuova rete metropolitana. Si ritiene di notevole interesse tale approccio, soprattutto in considerazione della possibilità di conferire una certa omogeneità percettiva tramite un approccio multiscalare, declinabile quindi a diversi elementi che caratterizzano l'intero sistema, connotando comunque il progetto attraverso una visione plurale e mai circoscritta. Tale approccio potrebbe essere certamente replicato in analoghi sistemi, anche ad una scala di intervento più limitata.



## Riferimenti bibliografici

- Aish, R., 1986. Building Modelling: the Key to Integrated Construction CAD. CIB 5<sup>th</sup> International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, 7-9 luglio.
- AL-Mohannadi, A.S., Furlan, R., 2018. The practice of city planning and design in the gulf region: the case of Abu Dhabi, Doha and Manama. Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, Vol. 12 n. 2 luglio 2018 (pp. 126-145).
- Alraouf, A.A., 2016. "Dohaization": an emerging interface between knowledge, creativity and gulf urbanity. In Katodrytis, G., Sharmeen, S., Gulf Cities and Interfaces, Cambridge: Gulf Research Centre Cambridge.
- Alraouf, A.A., 2019. Towards a new paradigm in city branding and marketing: the case of Doha, Qatar. In Proceedings of 55<sup>th</sup> International Society of City and Regional Planners (ISOCARP) World Planning Congress Jakarta-Bogor, Indonesia (pp. 1920-1936).
- Alraouf, A.A., 2019. Less is beautiful: transforming metropolitan Doha into a global resilient urban village. In International Society of City and Regional Planners (ISOCARP) review n. 15 (pp. 106-130).
- Arayici, Y., 2015. Building Information Modeling. Bookboon.com. ISBN 978-87-403-1098-6
- Autodesk, 2002. Autodesk building industry solutions. San Rafael, California, Autodesk Inc.
- Azzali, S., Tomba, M., 2018. Urban development and planning practice in Doha. Middle East Institute, National University of Singapore, MEI insight n.180 marzo 2018.
- Calthorpe, P., 1993. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. Princeton Architectural Press, Princeton.

- Cheung, F.K.T., Rihan, J., Tah, J., Duce, D., Kurul, E., 2012. Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models, in *Automation in Construction* n. 27 (pp. 67-77), Elsevier B.V.
  
- Christiansson, P., 1999. Properties of the virtual building, in *Durability of Building Materials and Components 8*. National Research Council Canada 1999 (pp. 2909-2919).
  
- Christiansson, P., 1993. Visioner om virtuella hus/Visions on Virtual Buildings. *BoFast* Nr. 8 (pp. 17-18).
  
- Ciribini, A.L., 2013. *L'information modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*. Maggioli Editore.
  
- Ciribini, A.L., 2016. *BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito*. Palermo: Grafill, 2016. ISBN 978-88-8207-768-6
  
- Computer Integrated Construction Research Program, 2011. *BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.1*. The Pennsylvania State University.
  
- Cumo, F., Sferra, A., Piras, G., Mancini, e altri, 2016. *La metodologia BIM come strumento per una efficiente progettazione e gestione degli impianti degli edifici*. Report Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA, 2016.
  
- Dalla Mora, T., Peron, F., Cappelletti, F., Romagnoni, P., Ruggeri, P., 2014. *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*. AiCARR, Milano.
  
- Demmler, M., Griguta, M., McCracken, A., Omeara, D., Al Ansari, J., Mcchesney, S., 2019. Implementation and challenges on the Doha Metro project, Qatar. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, volume 172 n.1 2019 (pp. 29-37).
  
- Denning, P.J., 2017. *Computational Design*. Ubiquity Vol. agosto 2017 (pp.1-9), ACM, New York.
  
- Eandi, S., 2019. Beyond BIM. What does the future hold for us in terms of engineering design, intervento all'interno del seminario "Esperienze BIM per il futuro"

delle infrastrutture”, Milano 2 luglio 2019.

- East, E.W., 2007. Construction Operations Building Information Exchange (COBIE). Requirements Definition and Pilot Implementation Standard. Construction Engineering Research Laboratory (CERL), US Army Engineer Research and Development Center.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2008. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley & Sons.
- Eastman, C., 1999. Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction. CRC Press LLC, Florida.
- Eastman, C., 1975. The Use of Computers Instead of Drawings. AIA Journal, marzo Vol. 63 N. 3 (pp. 46-50).
- Eastman, C., 1974. An outline of the Building Description System. Institute of physical planning, Carnegie Mellon University.
- EU BIM Task Group, 2017. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Co-funded by the European Union.
- Fathi, A., Saleh, A., Hegazy, M., 2016. Computational design as an approach to sustainable regional architecture in the Arab world. Procedia – Social and Behavioral Sciences 225 (pp. 180-190), Elsevier B.V.
- Fregolent, L., 2012. La città a bassa densità: problemi e gestione. In TeMA, Journal of Land Use, Mobility and Environment, N. 1 2012 (pp. 7-19).
- Furlan, R., Faggion, L., 2015. The development of vital precincts in Doha: urban regeneration and socio-cultural factors. American Journal of Environmental Engineering, Vol. 5 n. 4 2015 (pp. 120-129).
- Garagnani, S., Cinti Luciani, S., 2011. Il modello parametrico in architettura: la tecnologia BIM di Autodesk Revit.

- Garagnani, S., 2014. Il processo costruttivo tra rappresentazione e conoscenza: la nascita del Building Information Modeling. Università di Bologna.
- General Secretariat for Development Planning, 2008. Qatar National Vision 2030.
- Greenough, T., Smith, M., Mariash, A., 2019. Integrating computational design to improve the design workflow of modular construction. Proceedings of the 2019 Modular and Offsite Construction Summit, Banff (Canada) maggio 2019 (pp. 165-172).
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 01 - 3D-4D-BIM Overview. Version 2007.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 02 - Spatial Program Validation. Version 2.0, 2015.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 03 - 3D Laser Scanning. Version 1.0, 2009.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 04 - 4D Phasing. Version 1.0, 2009.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 05 - Energy Performance. Version 2.1, 2015.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 07 - Building Elements. Version 1.0, 2016.
- GSA Building Information Modeling Guide Series. GSA BIM Guide 08 - Facility Management. Version 1.0, 2016.
- Gu, N., London, K., 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry, in Automation in Construction n. 19 (pp. 988-999), Elsevier B.V.
- Hoogenboom, D., 2018. Building Information Modelling (BIM); A license to operate? Q4 2017 Building Information Modeling report of the European Architectural Barometer. USP Marketing Consultancy, Rotterdam.

- HM Government 2015. Digital Built Britain. Level 3 Building Information Modelling-Strategic Plan. Crown Copyright 2015.
- Jodidio, P., 2015. The new architecture of Qatar. Skira Rizzoli 2015.
- Laiserin, J., 2002. Comparing Pommes and Naranjas. The LaiserinLetter, 16 dicembre, <http://laiserin.com/features/issue15/feature01.php>
- Lee, S.L., Kim, K., Yu, J., 2014. BIM and ontology-based approach for building cost estimation, in Automation in Construction n. 41 (pp. 96-105), Elsevier B.V.
- Koeleman, J., Ribeirinho, M.J., Rockhill, D., Sjödin, E., Strube, G., 2019. Decoding digital transformation in construction. McKinsey & Company 2019.
- Kosandiak, S., Philp, D., 2018. The UK move to international BIM standards. <http://www.bimplus.co.uk/people/uk-move-iso-bim-standards/>
- Maunula, A., Smeds, R., Hirvensalo, A., 2008. Implementation of Building Information Modeling (BIM) – A Process Perspective. Innovations in Networks – Proceedings of the APMS 2008 Conference (pp. 379-386).
- NBS, 2018. National BIM Report 2018. RIBA Enterprises Ltd <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>
- Nical, A.K., Wodynski, W., 2016. Enhancing Facility Management through BIM 6D. Elsevier Ltd. 2016.
- Pasini, D., Caffi, V., Daniotti, B., Lupica, S., Pavan, A., 2017. The INNOVance BIM library approach. Springer International Publishing Switzerland. <https://doi.org/10.1007/s41062-017-0062-y>
- Pavan, A., Daniotti, B., Re Cecconi, F., Maltese, S., Spagnolo, S., Caffi, V., Chiozzi, M., Pasini, D., 2014. INNOVance: Italian BIM Database for Construction Process Management. Conference: International Society for Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE) and CIB W078, Orlando.
- Penttilä, H., 2006. Describing the changes in architectural information technology



to understand design complexity and free-form architectural expression. ITcon Vol. 11 (Special issue "The Effects of CAD on Building Form and Design Quality", pp. 395-408, <http://www.itcon.org/2006/29>).

- Penttilä, H., 2009. Introducing to BIM – What makes a BIM-project? [http://www.mittaviiva.fi/hannu/BIM\\_project/index\\_bim\\_basics\\_en.html](http://www.mittaviiva.fi/hannu/BIM_project/index_bim_basics_en.html)

- Ratti, C., Mattei, M.G., 2013. Smart city, smart citizen. Milano: EGEA.

- Ratti, C., Claudel, M., 2014. Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta. Einaudi.

- Rizzo, A., 2013. Metro Doha. Articolo in *Cities*, sezione *City profile*, Aprile 2013.

- Rizzo, A., 2014. Rapid urban development and national master planning in Arab Gulf countries. Qatar as a case study. Articolo in *Cities* n. 39 (pp. 50-57).

- Salama, A.M., Wiedmann, F., 2013. Demystifying Doha. Ashgate Publishing Limited.

- Salama, A.M., Wiedmann, F., 2016. Demystifying Doha: on architecture and urbanism in an emerging city. Routledge, Londra e New York 2016.

- Shaaban, K., Radwan, E., 2014. Rebuilding the transportation system in the city of Doha. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, Vol. 2 n. 3 settembre 2014 (pp. 241-247). doi: 10.12720/jtle.2.3.241-247

- Shandas, V., Makido, Y., Ferwati, S., 2017. Rapid urban growth and land use patterns in Doha, Qatar: opportunities for sustainability? *European Journal of Sustainable Development Research*, Vol. 1 n. 2.

- Staub-French, S., Forgues, D., Iordanova, I., Kassaian, A., Abdullal, B., Samilski, M., Burak Cavka, H., Nepal, M., 2011. Building information modeling (BIM) - "Best Practices" Project Report.

<http://bim-civil.sites.olt.ubc.ca/files/2014/06/BIMBestPractices2011.pdf>

- Steel, J., Drogemuller, R., Toth, B., 2010. Model interoperability in building

information modelling. Springer, Queensland University of Technology, Australia.

- Succar, B., 2013. Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools. PhD thesis School of Architecture and Built Environment, University of Newcastle, Australia.

- UNstudio, Van Berkel, B., 2014. Architectural Branding Manual.

- Van Nederveen, G.A., Tolman, F.P., 1992. Modelling multiple views on buildings, in Automation in Construction n. 3 (pp. 215-224), Elsevier B.V.

- Vukovic, V., Kassem, M., Dawood, N., Atif Hafeez, M., Chahrour, R., 2015. BIM adoption in Qatar: capturing high level requirements for lifecycle information flow. DOI: 10.13140/RG.2.1.4128.8400.

- Wiedmann, F., Salama, A.M., Thierstein, A., 2012. Urban evolution of the city of Doha: an investigation into the impact of economic transformations on urban structures. METU JFA Journal of the Faculty of Architecture, Vol. 28 n. 2 dicembre 2012 (pp. 35-61).

- World Health Organization, 2016. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. WHO Press, Ginevra.

- Yung, P., Wang, X., 2014. A 6D CAD Model for the Automatic Assessment of Building Sustainability. International Journal of Advanced Robotic System. DOI: 10.5772/58446.