

Energy-efficient Traffic Allocation in SDN-based Backhaul Networks: Theory and Implementation

*Original*

Energy-efficient Traffic Allocation in SDN-based Backhaul Networks: Theory and Implementation / Tadesse, SENAY SEMU; Casetti, CLAUDIO ETTORE; Chiasserini, Carla Fabiana; Landi, G.. - STAMPA. - (2017), pp. 209-215. ( The 14th Annual IEEE Consumer Communications & Networking Conference (IEEE CCNC 2017) Las Vegas (USA) 08-11 January 2017) [10.1109/CCNC.2017.7983107].

*Availability:*

This version is available at: 11583/2679630 since: 2017-09-11T12:35:02Z

*Publisher:*

IEEE

*Published*

DOI:10.1109/CCNC.2017.7983107

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

IEEE postprint/Author's Accepted Manuscript

©2017 IEEE. Personal use of this material is permitted. Permission from IEEE must be obtained for all other uses, in any current or future media, including reprinting/republishing this material for advertising or promotional purposes, creating new collecting works, for resale or lists, or reuse of any copyrighted component of this work in other works.

(Article begins on next page)

## DAI NUMERI ALLE FORME

La transizione digitale nei processi morfogenetici

## FROM NUMBERS TO FORMS

The digital turn in morphogenic processes

Michela Barosio, Rossella Gugliotta

### ABSTRACT

La transizione digitale, o più precisamente il secondo Digital Turn, ha messo a disposizione del progetto architettonico e urbano sofisticati strumenti morfogenetici. Tali strumenti sono stati usati prevalentemente per la generazione di forme dalle geometrie non euclidee e la relativa integrazione dei sistemi costruttivi, anche dinamici. Il presente lavoro sonda invece la possibilità di usare gli strumenti parametrici per gestire le trasformazioni urbane sulla base di parametri formali e non meramente quantitativi, derivati dall'analisi morfologica della città esistente. Per fare questo sono stati individuati e analizzati tre strumenti (il tipo, il diagramma e il modello), capaci di tradurre le caratteristiche morfologiche urbane in elementi incorporabili ai processi parametrici indagandone le relative potenzialità e i possibili limiti anche attraverso due sperimentazioni pratiche.

The digital turn, or specifically the second Digital Turn, was at disposal of the architectural and urban project sophisticated morphogenic tools. These tools have been used mainly to create new forms with non-Euclidean geometries and their integration with building systems, also dynamic. This paper investigates the possibility of using parametric tools to handle urban transformations based on formal parameters and not merely quantitative ones, coming from the morphological analysis of the existent city. To this purpose, three tools have been identified and analysed (type, diagram and model), to translate the morphologic urban characteristics in elements embeddable into parametric processes, investigating their potential and possible limits also with two practical experimentations.

### KEYWORDS

morfologia urbana, morfologie di transizione, design computazionale, morfogenesi, transizione digitale

urban morphology, transition morphologies, computational design, morphogenesis, digital transition

**Michela Barosio**, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design at Politecnico di Torino (Italy); she is a member of the Transitional Morphologies Joint Research Unit created by the Southeast University Nanjing (China) and Politecnico di Torino (Italy) and of the Education Academy of the European Association for Architectural Education (EAAE). Her research is focused on urban regeneration, urban morphology, computational design and pedagogy of architectural design. Mob. +39 340/498.93.28 | E-mail: michela.barosio@polito.it

**Rossella Gugliotta**, PhD Candidate at the Department of Architecture at Politecnico di Torino (Italy), is a member of the Transitional Morphologies Joint Research Unit created by the Southeast University Nanjing (China) and Politecnico di Torino (Italy). Her research is focused on the study of Italian urban morphology and, in particular, on the tools to represent the contemporary city on maps and diagrams. Mob. +39 320/429.76.39 | E-mail: rossella.gugliotta@polito.it



La crescente convergenza tra i concetti di innovazione e di sostenibilità ha portato allo sviluppo del concetto di innovability<sup>®</sup> prevalentemente nel campo delle scienze sociali ed economiche (De la Vega Hernández and Barcellos de Paula, 2020). Nel campo del progetto architettonico e urbano questi due concetti vengono invece, talvolta, visti come antitetici. Dal punto di vista dei temi del linguaggio architettonico, l'innovazione è infatti assimilata all'uso di forme e materiali da costruzione avveniristici, spesso tutt'altro che sostenibili sotto il profilo ambientale, mentre l'approccio sostenibile sembrerebbe orientarsi verso soluzioni tecniche più tradizionali e locali, quasi pauperistiche. La relazione tra i due termini cambia se invece di considerare il linguaggio del progetto si guarda al processo del progetto stesso (Giallocosta, 2019). Questo lavoro si propone quindi di indagare, all'interno dei processi morfogenetici a scala urbana, gli strumenti capaci di coniugare innovazione e sostenibilità attraverso la transizione digitale applicata ai processi di progetto.

La forma della città e dell'architettura sono influenzate dalla relazione tra tempo e spazio; questo rapporto ha subito dei cambiamenti andando a definire nuovi sistemi di riferimento, dalla concezione 'assoluta' di tempo e spazio (Newton) si è passati a quella 'relativa' (Einstein), fino a raggiungere quella 'interattiva' (McFadden), in cui a spazio e tempo si aggiungono le informazioni (Gausa and Vivaldi, 2021). La forma diventa attiva in quanto composta non solo dall'aspetto visibile del singolo oggetto, ma anche dalle relazioni tra le parti (Easterling, 2016). Lo stesso Goethe, nelle sue ricerche morfologiche del 1795, non si concentra sulla mera applicazione di regole metodologiche legate alla forma, ma ne esplicita i termini elastici e variabili e invita a pensare al concetto di forma come a qualcosa in continuo mutamento (Pinotti and Tedesco, 2013).

La nozione di forma comprende infatti due accezioni diverse: la prima è 'morphè', parola greca che indica la forma esterna delle cose, cioè visibile, concreta; la seconda è 'eidos' e indica la forma interna delle cose, quella invisibile (Chiodo, 2011) di cui fanno parte le caratteristiche e le relazioni che la compongono. La forma qui viene intesa come il risultato del processo progettuale e delle interazioni tra il programma e gli attori del processo come descritto da Christopher Alexander (1964) su Note sulla Sintesi della Forma in cui mette in evidenza che la crescente complessità delle forme architettoniche e urbane richieda strutture logiche rigorose per essere rappresentata. Di tale entità complessa, dotata di dinamismo intrinseco oltre che estrinseco (Triscioglio et alii, 2021), è possibile studiare la genesi e l'evoluzione, attraverso l'esplicitazione della sua configurazione logica.

In una visione multiscale della città e dell'architettura come sistemi di informazioni, dinamici e in transizione, la logica diagrammatica, punto di partenza dell'approccio digitale (Barosio and Gugliotta, 2020) rappresenta quindi uno strumento capace se non di controllare, almeno di orientare, i processi generativi e poi rigenerativi della città stessa. L'ignoto viene così prefigurato attraverso la manipolazione delle tecniche utilizzate per rappresentare ciò che è noto (Terzidis, 2015). In questa prospettiva Mario Carpo (2017) afferma che Leon Battista Alberti è stato il primo

'digital architect' perché ha utilizzato un codice numerico per rappresentare la sua *Descriptio Urbis Romae* (Allen, 2009). Alberti ha inserito la rappresentazione della città in uno spazio topologico assimilabile allo spazio diagrammatico che rappresenta un momento operativo della trasformazione (Gasperoni and Gretsche, 2022) in cui la traduzione tra dati e immagine avviene attraverso l'attribuzione di parametri.

Se già nella seconda metà del XX secolo Alexander (1964) intuiva che occorresse riconoscere che siamo alla vigilia di un'era in cui l'uomo sarà in grado di potenziare le sue facoltà intellettuali e inventive, proprio come nel XIX secolo egli aumentò le sue facoltà fisiche con l'uso delle macchine, proponendo l'uso di variabili binarie e il concetto di 'corretta corrispondenza' come strumenti del processo di progetto, occorre oggi compiere un ulteriore passo nella esplicitazione del processo logico di progetto incorporandovi variabili (o parametri) formali e non più solo, meramente, quantitativi.

A partire dal riconoscimento del ruolo dei tipi, dei diagrammi e dei modelli nella generazione e nell'evoluzione della forma urbana, il presente contributo si propone quindi di indagare la possibilità di assumere queste tre categorie come canoni da incorporare in un processo di progettazione parametrica. L'approccio parametrico è oggi pienamente riconosciuto nel campo del progetto urbano per le sue potenzialità nella gestione delle variabili quantitative, prevalentemente legate ai temi del cambiamento climatico (Bassolino and Ambrosini, 2016) o ai temi della densità, mentre l'uso di parametri di natura morfologica è poco praticato e quasi sempre limitato a ripetizioni di pattern precostituiti.

L'originalità del percorso di progetto qui delineato sta invece nell'ipotizzare di sfruttare le potenzialità dell'approccio parametrico per gestire la transizione morfologica e la generazione delle forme urbane, basandosi su archetipi e relazioni formali elaborate dai progettisti. Il contributo proposto si articola secondo tre punti principali volti a esplorare, prima il ruolo che tipi urbani, diagrammi e modelli hanno nei processi di morfogenesi della città, e poi a sondare le possibilità e le modalità per introdurre questi parametri formali e spaziali come componente del processo parametrico di progettazione o rigenerazione della città.

**Stato dell'arte** | Il passaggio da parametri meramente quantitativi tipici dell'approccio morfometrico (Dibble, et alii, 2017; Fleischmann, Romice and Porta, 2020; Berghauer Pont and Haupt, 2021), fino ad oggi unica base del design computazionale, a parametri di forma e quindi la loro traduzione attraverso il linguaggio numerico capace di dialogare con lo strumento computazionale, è una delle questioni aperte nel dibattito emergente sui 'generative urban design concepts and methods' (Al Qeisi and Al-Alwan, 2021). Congiuntamente, se lo studio della genesi della forma è considerato un campo prolifico per la sperimentazione sui processi computazionali e di deep learning (Cai et alii, 2021), la continua ricerca di parametri numerici capaci di rappresentare caratteri formali può portare alla riduzione della complessità della morfologia come campo di studio e di intervento (Witt, 2016).

Sembrano comunque promettenti gli studi che permettono un riconoscimento automatico delle forme urbane (Peeters and Yoram, 2012; Fig. 1). Queste tecniche di identificazione di elementi tipologici forniscono una base per gli studi più recenti sulle morfologie transizionali della città (Triscioglio et alii, 2021; Figg. 2, 3), permettendo così di lavorare alla messa a punto di nuovi strumenti per il progetto urbano contemporaneo. Diventa così possibile cogliere le dinamiche evolutive, ma anche prefigurare possibili trasformazioni future della città attraverso la permutazione e la deformazione dei tipi urbani, quindi di parametri formali. Queste ricerche, basandosi su un sistema logico-qualitativo, introducono, all'interno degli studi sulla forma, un principio logico riconducibile a codici e principi genetici (Gausa and Vivaldi, 2021).

Il dibattito morfologico sulla genesi della forma urbana può essere descritto attraverso tre oggetti di analisi che sono anche strumenti di progetto in grado di sintetizzare e restituire le componenti essenziali: il tipo, il diagramma e il modello. La serie di studi sulla forma urbana iniziati da Saverio Muratori (1959), e portati avanti da Gianfranco Caniggia (Caniggia and Maffei, 1979) attraverso la definizione del tipo come 'sintesi a priori' dell'organismo architettonico e urbano, danno l'avvio a un uso del tipo non solo analitico ma progettuale, 'operativo'. L'identificazione del tipo e delle caratteristiche formali che lo accompagnano si prefigura come una prima visione diagrammatica delle trasformazioni urbane. Il diagramma verrà poi identificato e teorizzato, negli stessi anni del dibattito sulla scientificità dell'urbanistica, da Christopher Alexander (1964) con la sistematizzazione di un metodo diagrammatico per la definizione della componente formale del progetto in grado di lavorare con pattern e relazioni tra gli oggetti e le parti della città.

Infine il modello, sovrapponibile sia al tipo che al diagramma, inteso come rappresentazione astratta di uno spazio fisico in uno virtuale, si pone come risultato di un sistema di regole e simboli in grado di descrivere e controllare un fenomeno o una realtà ancora in divenire (Terzidis, 2015). Tipo, diagramma e modello, in questi diversi studi, sono considerati strumenti di progettazione e non solo di analisi. Il ruolo morfogenetico e non solo analitico del tipo, del diagramma e del modello nel progetto urbano è il portato più rilevante introdotto da questi studi che indagano la logica della forma. La prospettiva contemporanea di evoluzione di questi studi consiste nel servirsi dell'esplicitazione logica dei processi di morfogenesi per implementare i processi di progettazione computazionale e parametrica per le trasformazioni urbane.

**Metodo** | La transizione in atto nel processo del progetto urbano da analogico a digitale si sviluppa essenzialmente seguendo due diverse metodologie. La prima metodologia prevede la generazione di nuove forme a partire dall'esplicitazione di regole e canoni compositivi capaci di tradurre gli obiettivi del progetto. La seconda metodologia prevede invece la generazione di un insieme di varianti di forme basate sulla corrispondenza con set di dati/esempi paradigmatici.

Nel quadro dell'attività di ricerca della Joint Research Unit Transitional Morphologies, coordinata dai Professori Li Bao e Marco Triscioglio, istituita congiuntamente dal Politecnico di Torino

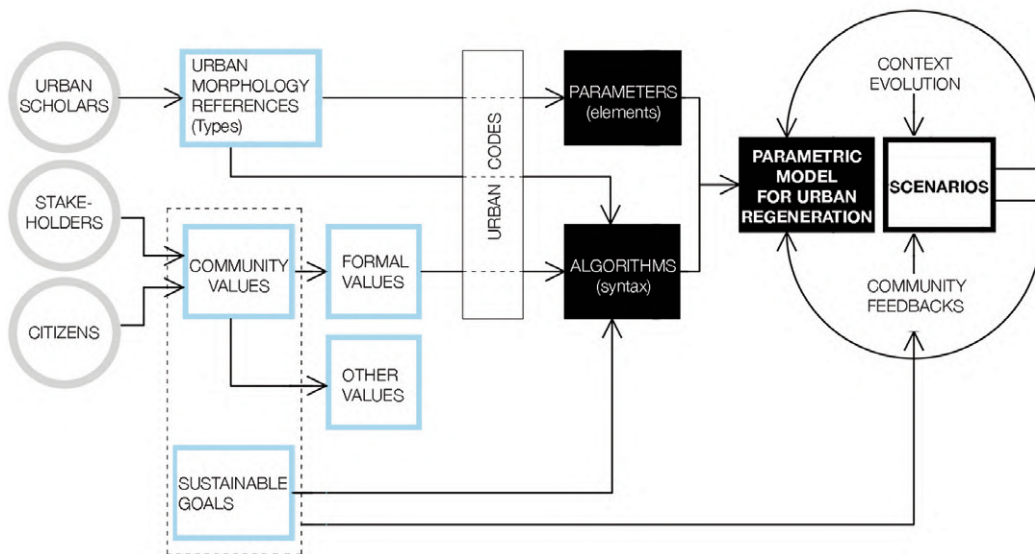
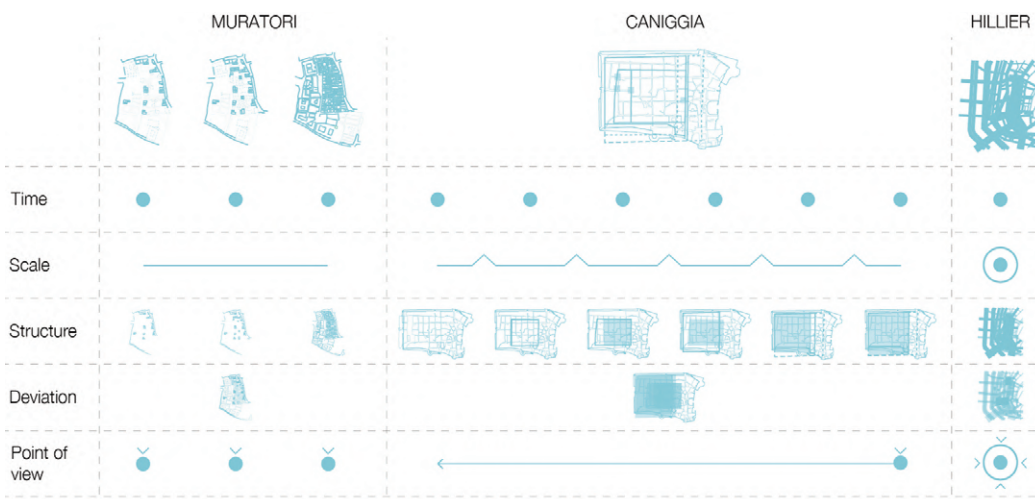
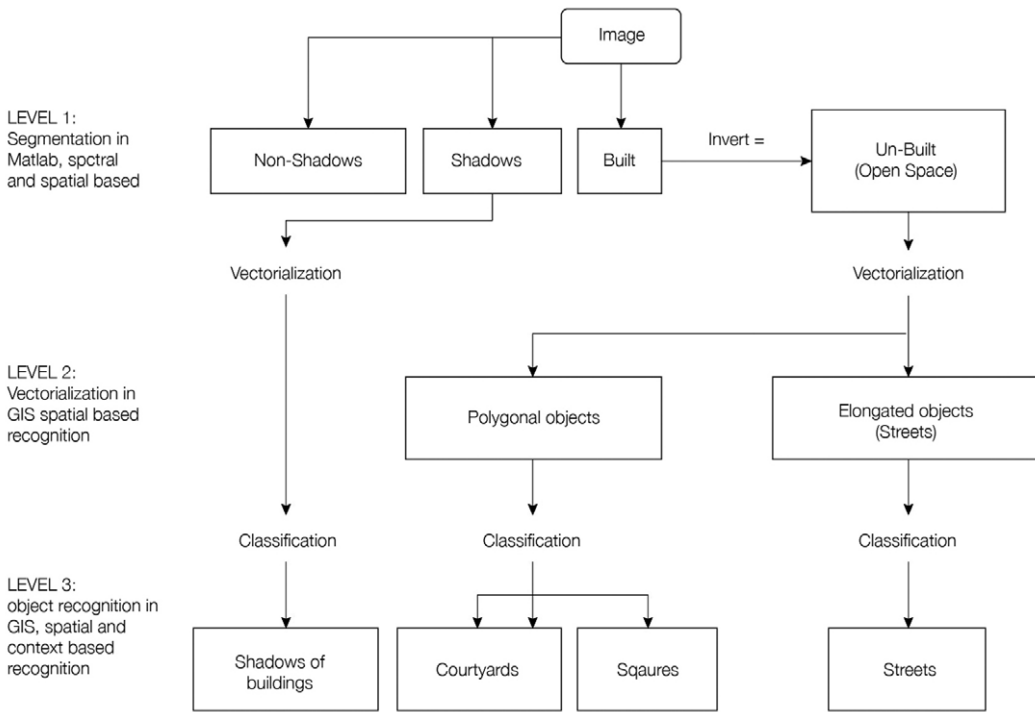


Fig. 1 | Method scheme to automatically recognise urban forms (source: Peeters and Yoram, 2012).

Fig. 2 | Study of evolutionary trends in the transitional city (source: Trisciuglio et alii, 2021).

Fig. 3 | Study of formal parameters for a generative parametric model of the urban form (source: Trisciuglio et alii, 2021).

e dalla Southeast University Nanjing (Cina) nel 2018, sono state condotte sperimentazioni puntuali utilizzando entrambe le metodologie. Si è quindi scelto di adottare un approccio abduktivo alla ricerca, nel senso promosso da Charles Sanders Peirce (cit. in Hartshorne, Weiss and Burks, 1931-1958), partendo da risultati puntuali, considerati paradigmatici, per definire temi e criticità più generali da affrontare in future ricerche. La scelta della metodologia utilizzata nei singoli casi studio è dipesa da diversi fattori quali, la scala di progetto e i tipi di requisiti del progetto, nonché dal contesto istituzionale della sperimentazione.

Una prima sperimentazione<sup>2</sup>, condotta nell'ambito della terza missione, ha avuto come obiettivo la generazione automatica di layout di palestre corrispondenti a precisi requisiti funzionali e percettivi definiti dalla committenza. In questo caso il metodo adottato è quindi consistito nella realizzazione di un ricco database di immagini, rappresentanti il tipo funzionale della palestra, il quale, attraverso un modello generativo image-based (Para et alii, 2021) ha prodotto un cluster di soluzioni (Fig. 4).

Una seconda sperimentazione<sup>3</sup> invece, di natura più speculativa, resa possibile dai finanziamenti alla internazionalizzazione ricevuti per progetti congiunti dal Politecnico di Torino (2017-2020) e dalla Southeast University (2018-2019), ha lavorato sulla possibilità di generare forme urbane a partire da diagrammi e regole che interpretano e rielaborano tipi urbani precedentemente identificati per nuove proposte progettuali a livello planivolumetrico nei processi di rigenerazione urbana. Questo tema è stato sviluppato attraverso sperimentazioni progettuali collettive sul tema dell'abitare di emergenza e sulle relative esigenze di flessibilità e di rapida riconfigurazione delle proposte progettuali anche a scala urbana (Figg. 5-7).

La ricerca, ancora in fase iniziale, non mira a costituire una metodologia univoca per integrare dati formali e spaziali nei processi di progettazione parametrica e computazionale della città, ma piuttosto a sviluppare le potenzialità del Parametric Design Thinking (Oxman, 2017) come strumento per il progetto urbano. Le diverse sperimentazioni hanno rapidamente messo in evidenza il limite, almeno apparente, di questo tipo di approccio che, non potendo incorporare tutti i requisiti che costituiscono il programma di progetto, alcuni dei quali sono addirittura impossibili da esplicitare, produce come esito un insieme di soluzioni possibili e non una soluzione univoca.

A valle di questo cluster di soluzioni occorre quindi l'intervento del progettista per selezionare la soluzione più appropriata. L'obiettivo finale della ricerca è quindi quello di potenziare il processo di progetto attraverso la traduzione di requisiti formali in canoni basati su tipi, diagrammi e modelli che permettano di renderli elementi del linguaggio computazionale. Le sperimentazioni condotte finora in questo senso sono circoscritte ai tipi urbani della città europea consolidata e sono state sviluppate in modo non sistematico, ma mirato a far emergere le potenzialità e le criticità di una ricerca scientifica in tal senso.

**Il tipo come sintesi della forma** | Il concetto di tipo in architettura, considerato talvolta come oggetto statico risultato di un insieme di regole, è

descritto già da Gianfranco Caniggia nel 1979 attraverso la 'deformità del tipo' e le 'devianze' prefigurandone la dinamicità e la capacità trasformativa in virtù del progetto (Caniggia and Maffei, 1979; Fig. 8). Il concetto di tipo si inserisce sempre di più all'interno del dibattito contemporaneo dell'informatizzazione dei processi di progetto. La ricerca tipologica e morfologica, nell'ottica della progettazione computazionale basata su una progettazione algoritmica-matematica, introduce la complessità del manufatto architettonico attraverso il concetto di genotipo; questo sintetizza al suo interno parametri formali e funzionali (Ventura, 2015).

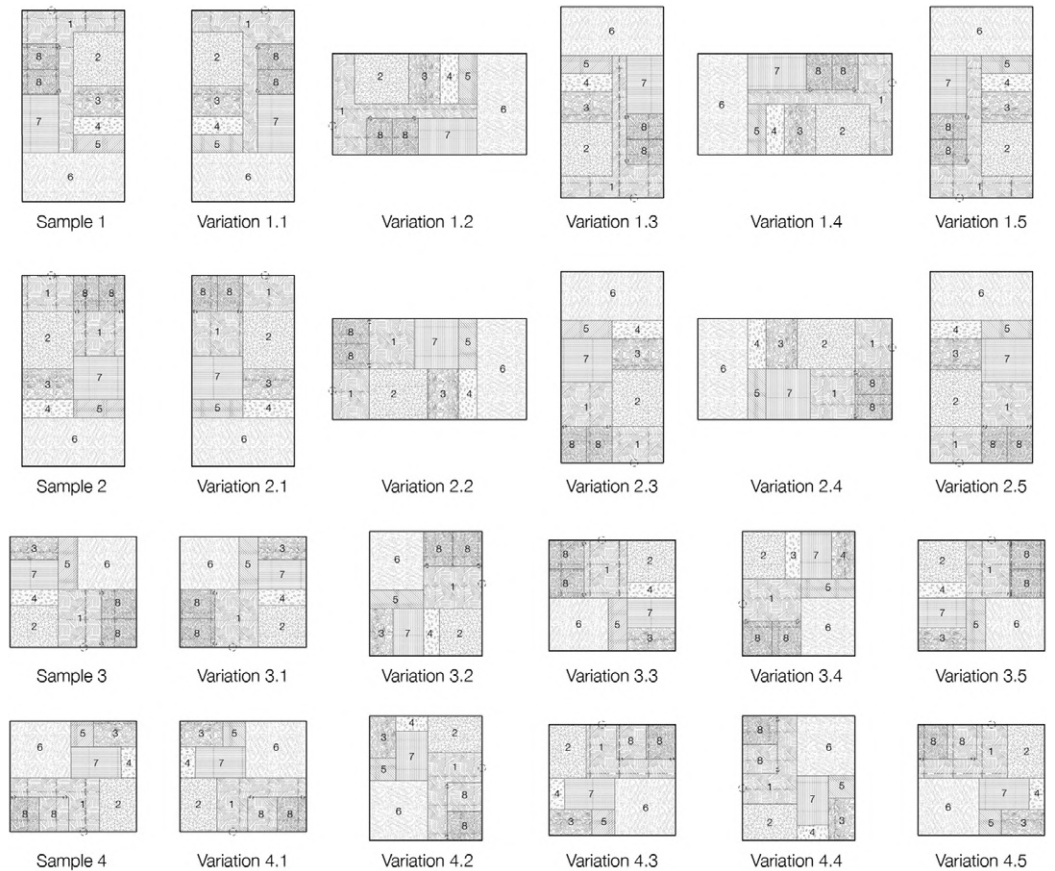
Il ruolo del tipo nel processo morfogenetico come sintesi della forma è quindi quello di mettere in evidenza delle invarianti nella configurazione dello spazio, ma anche di delineare l'evoluzione della morfologia urbana attraverso la prefigurazione di una molteplicità di soluzioni (Trisciuglio, 2020; Fig. 9). È oggi possibile 'insegnare' a una macchina a riconoscere queste invarianti attraverso la creazione di database di esempi contenenti le invarianti stesse. Successivamente lo strumento computazionale sarà in grado di generare un insieme di soluzioni corrispondenti a queste invarianti. Quest'uso del tipo all'interno del processo computazionale può essere applicato sia a tipi funzionali sia a tipi morfologici e richiede una preventiva elaborazione di un dataset con un numero di esemplari sufficientemente alto per rappresentare la varietà e la complessità del tipo in oggetto (Hu et alii, 2020).

### Il diagramma come esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali

Negli ultimi decenni, da Eisenman in poi, il diagramma si è sviluppato come mezzo generativo all'interno del processo di progettazione architettonica (Gleiter and Gasperoni, 2019), non solo computazionale. La definizione deriva dalla distinzione che Eisenman (1999) fa all'interno del libro *Diagram Diaries* in cui, oltre che la funzione analitica del diagramma, viene riconosciuta quella generativa in grado di fornire all'architettura nuovi significati con l'obiettivo di trasformare l'oggetto di progetto. Da ciò deriva che il diagramma generativo non è solo esplicativo, ma permette di definire e interpretare la componente nascosta e latente del progetto. Nello specifico, nel processo morfogenetico, il diagramma si propone come strumento utile all'esplicitazione delle relazioni tra gli elementi che compongono il tutto (Stjernfelt, 2007).

Riconoscere le strutture logiche che governano il processo progettuale e i problemi della progettazione porta a quella che Alexander (1964) ha definito come la 'perdita dell'innocenza' in cui a ogni decisione progettuale a livello formale viene riconosciuto uno specifico peso (Fig. 10): attraverso il diagramma è possibile quindi definire azioni, relazioni e dinamiche del processo di formazione. In particolare, nell'ottica dell'utilizzo del diagramma nel processo morfogenetico, emerge la sua centralità come mezzo di trasformazione e generazione di nuove forme dell'immaginario della progettazione architettonica traducendo informazioni e dati in forme (Gleiter and Gasperoni, 2019).

Il diagramma può essere descritto come la reiterazione di un processo deduttivo che, attraverso una costruzione per ipotesi ed errori, porta alla definizione di un nuovo immaginario (Stjernfelt,



**Fig. 4** | Database of function types for the image-based generative process: 1. Hall; 2. Cardio area; 3. Lightweights area; 4. Stretching area; 5. Functional training area; 6. Resistance machines area; 7. Weights area; 8. Facilities (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

2007) di forme architettoniche. Il ruolo preposto del diagramma nel processo morfogenetico è nell'esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali, ma anche nelle relazioni all'interno degli stessi elementi per generare nuove forme e oltrepassare la visione statica della genesi della forma (Armando and Durbiano, 2019). Il ruolo del diagramma diventa quindi fondamentale nella progettazione algoritmica, cioè in quella declinazione del progetto computazionale che genera nuove forme a partire da regole, prevalentemente matematiche (Caetano, Santos and Leitão, 2020).

### Il modello come base di dati di riferimento

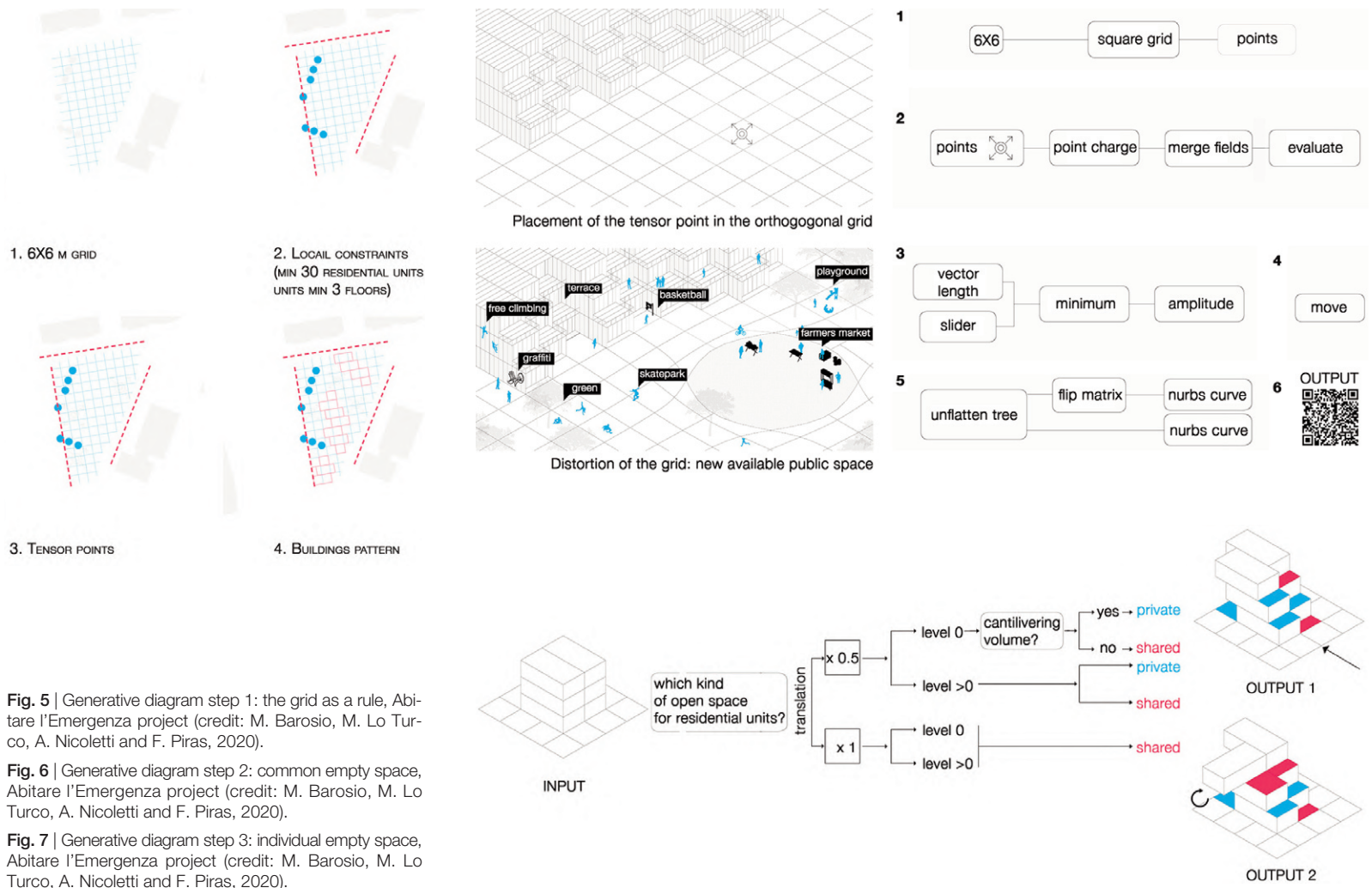
Il modello è qui inteso come il prodotto di una simulazione digitale dei dati di natura diversa che nel progetto confluiscono. Il modello virtuale così ottenuto permette al progettista, ma anche ai non addetti ai lavori, di 'vedere', valutare e quindi di intervenire sui risultati spaziali del processo di progetto. Nel processo computazionale gli input di progetto non sono più considerazioni implicite nella mente del progettista, ma diventano dati espliciti e traducibili in input elettronici che entrano nel processo di progettazione e vengono gestiti dal progettista (Ventura, 2015); entrano a far parte di un modello virtuale, di simulazione, in grado di descrivere fenomeni reali con lo scopo di variare e manipolare i parametri e quindi sviluppare nuovi e successivi scenari di progettazione (Terzidis, 2015).

Il modello digitale è il trait-de-union tra il linguaggio numerico interfacciabile con il calcolare e il carattere visivo di immediata comprensione per il progettista. La relazione algoritmica tra il modello digitale e i parametri di progetto permette la

sua modifica in tempo reale da parte del progettista attraverso operazioni a lui proprie (scalatura, permutazione, deformazione) e il contemporaneo controllo dei parametri quantitativi associati al progetto (Calvano, 2015).

**Conclusioni** | L'approccio generativo alla progettazione non prevede un unico risultato, ma la produzione di soluzioni definite all'interno di quello che DeLanda (2016) chiama 'spazio delle possibilità'. La progettazione conduce a un processo generativo della forma che non è più unico e imprescindibile, ma che si rispecchia in molteplici configurazioni (Ventura, 2015). Il Parametric Design Thinking, definito come processo associativo di concetti geometrici (Woodbury, 2010), si avvale di un'interfaccia che permette di visualizzare la struttura algoritmica del processo ideativo. Il tentativo di incorporare in questo processo non solo dati quantitativi (dimensionali, prestazionali, normativi), ma anche canoni formali, pone il problema di come tradurre questi dati morfologici e come scomporre e riarticolare di conseguenza il processo di progetto. Questa scomposizione del progetto permetterà infine di ridiscutere l'azione del progettista all'interno del processo (Armando and Durbiano, 2017) e la sua relazione con gli strumenti computazionali.

L'ipotesi qui delineata è quindi che una dimensione fondamentale dell'attuale transizione digitale sia la traduzione dei caratteri morfologici della città attraverso strumenti di astrazione capaci di dialogare con il linguaggio computazionale. A tal fine il paper propone l'uso del tipo, del diagramma e del modello affidando a ciascuno



**Fig. 5** | Generative diagram step 1: the grid as a rule, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

**Fig. 6** | Generative diagram step 2: common empty space, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

**Fig. 7** | Generative diagram step 3: individual empty space, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

una specifica valenza (Fig. 11) nell’integrare elementi morfologici al processo parametrico di generazione delle forme urbane. In questo ragionamento il tipo è visto come l’elemento capace di sintetizzare le invarianti della forma urbana e di tradurle in schemi potenzialmente integrabili alla logica algoritmica. Il secondo strumento proposto è il diagramma, utile a mettere in evidenza le relazioni tra le parti che caratterizzano la morfologia urbana e quindi indispensabile alla scrittura dei codici su cui si basa il progetto parametrico; infine il modello come strumento di simulazione fondamentale nell’innescare il processo di revisione e di feedback che caratterizza la circolarità e la reiteratività dell’approccio parametrico.

Ognuno di questi tre strumenti – il tipo, il diagramma e il modello – porta con sé dei rischi per il processo di progetto. Così l’uso del tipo come sintesi della forma può portare a una eccessiva fissità delle forme prese in considerazione, mentre il ruolo del diagramma nell’esplicitare le relazioni tra gli elementi formali può portare a un livello di estrazione eccessivo e a un progressivo allontanamento delle peculiarità del contesto, imboccando così la direzione di una morfogenesi autoreferenziale, mentre l’uso dei modelli come verifica interattiva delle soluzioni di progetto può generare una illusoria sensazione di controllo sulla soluzione finale.

L’apparente limite di questo approccio nel suo complesso – cioè l’incapacità di individuare una soluzione unica e ottimale – costituisce però anche la sua maggiore potenzialità: la molteplicità

di soluzioni proposte e configurate dai processi di progettazione computazionale permette di stimolare il pensiero progettuale al di fuori degli schemi derivanti da un approccio classificatorio (Fig. 12). L’esortazione di Mario Carpo (2017) ‘search don’t sort’ – che invita a rifuggire dalle tassonomie per esplorare universi di soluzioni illimitati – potrebbe allora essere trasformata in ‘search then sort’, enfatizzando le potenzialità dell’approccio.

The increasing convergence between innovation and sustainability has led to the development of the concept of innovability<sup>®1</sup>, mainly in the field of social and economic sciences (De la Vega Hernández and Barcellos de Paula, 2020). In architectural and urban projects these concepts are sometimes seen as opposed. Regarding the architectural language subjects, innovation is assimilated to the use of futuristic shapes and building materials, often far from being sustainable for the environment, while the sustainable approach seems to steer towards more traditional and local, almost minimalistic, techniques. The connection between the two terms changes when we consider the process of the project instead of its language (Giallocosta, 2019). This paper wants to investigate, within morphogenetic processes at an urban scale, the tools able to connect innovation and sustainability through the digital turn applied to project processes.

The shapes of the city and architecture are in-

fluenced by the connection between space and time. This connection has endured some changes, defining new reference systems: from the ‘absolute’ concept of space and time (Newton) to the ‘relative’ one (Einstein), up to the ‘interactive’ one (McFadden), in which information joins space and time (Gausa and Vivaldi, 2021). The form becomes active since it is made up of the visible aspect of the single object, but also of the connections between the parts (Easterling, 2016). Goethe, in his morphologic research carried out in 1795, did not focus on the simple implementation of methodological rules linked to the shape, but called upon its elastic and variable terms; he exhorted to imagine the concept of form as ever-changing (Pinotti and Tedesco, 2013).

In fact, the concept of form includes two different aspects: the first is ‘morphè’, a Greek word referring to the external form of things, visible, tangible; the second is ‘eidos’ which refers to the internal form of things, the invisible one (Chiodo, 2011), including its characteristics and relations. The form is intended as a result of the design process and of the interactions between the program and the actors of the process as described by Christopher Alexander (1964) in Notes on the Synthesis of Form where he highlighted the need for rigorous logical structures to represent the increasing complexity of architectonic forms. It is possible to study the creation and evolution of this complex entity, with an innate and extrinsic dynamism (Trisciuglio et alii, 2021), by expressing its logical structure.

In a multiscalar vision of the city and architecture as dynamic and in transition information systems, the diagrammatic logic, starting point of the digital approach (Barosio and Gugliotta, 2020) is a tool capable of guiding generative, and then regenerative, processes of the city. The unknown is imagined through the manipulation of the techniques used to represent well-known situations (Terzidis, 2015). In this perspective, Mario Carpo (2017) stated that Leon Battista Alberti was the first 'digital architect' because he used a numeric code to represent his *Descriptio Urbis Romae* (Allen, 2009). Alberti has added the representation of the city in a topological space, comparable to the diagrammatic space representing an operational moment of transformation (Gasperoni and Gretschi, 2022) in which the transfer of data in images occurs with the attribution of parameters.

In the second half of the 20th century, Alexander (1964) understood that it was necessary to acknowledge that we are on the brink of times when humans may be able to magnify their intellectual and inventive capability. Just as in the 19th century they increased their physical abilities by using machines proposing the use of binary variables and the concept of 'rightful matching' as tools of the project process, today we have to make a step forward in explaining the logical design process by incorporating formal and no longer merely quantitative variables (or parameters).

Starting from recognising the role of types, diagrams and models in the generation and evolution of the urban form, this paper wants to analyse the possibility to consider these three categories as standards to include in a parametric design process. Today, the parametric approach is fully recognised in the project field for its potential in handling quantitative variables, mainly concerning climate change (Bassolino and Ambrosini, 2016) or density subjects, while the use of morphologic parameters is less common and generally limited to the repetition of pre-established patterns.

The uniqueness of the project path here described is the hypothesis to exploit the potential of the parametric approach to handle the morphologic turn and the generation of urban forms, based on archetypes and formal relations processed by designers. The paper is structured in three main points aimed to explore, first the role urban types, diagrams and models have in the morphogenesis of the city and then the possibility and ways to add these formal and spatial parameters as components of the design or regeneration parametric process of the city.

**State of the art** | Shifting from purely quantitative parameters typical of the morphometric approach (Dibble, et alii, 2017; Fleischmann, Romice and Porta, 2020; Berghauer Pont and Haupt, 2021), currently, the only base of computational design, to form parameters, hence their translation into a numerical language capable of connecting with the computational tool is one of the questions of the emerging debate on 'generative urban design concepts and methods' (Al Qeisi and Al-Alwan, 2021). Studying the genesis of the form is considered a prolific field for experimentation on the computational and deep learning processes (Cai et alii, 2021). At the same time, the ongoing research of numeric parameters capable of representing formal aspects can lead to considering

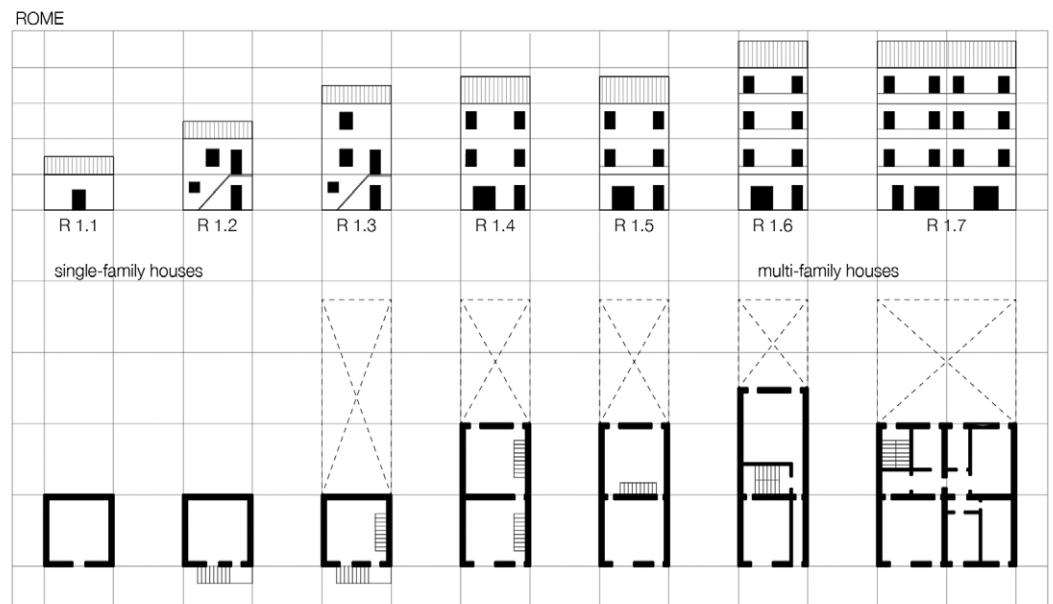
the morphology complexity only as a study and intervention field (Witt, 2016).

However, the studies allowing to automatically recognise urban forms seem promising (Peeters and Yoram, 2012; Fig. 1). These identification techniques of typological elements provide a base for recent studies on transitional morphologies of the city (Trisciuglio et alii, 2021; Figg. 2, 3), allowing to work on the setup of new tools for the contemporary urban project. Therefore, it is possible to grasp evolution trends, but also anticipate possible future transformations of the city by permuting and deforming urban types, hence, of formal parameters. These pieces of research, based on a logic-quantitative system, introduce, within the studies on the form, a logical principle attributable to genetic codes and rules (Gausa and Vivaldi, 2021).

The morphological debate on the genesis of the urban form can be described through three objects of analysis that are also project tools capable of summarising and restoring its essential components: type, diagram and model. The series of studies of the urban form started by Saverio Muratori (1959) and carried on by Gianfranco Caniggia (Caniggia and Maffei, 1979), defining the

type as 'a priori synthesis' of the architectonic and urban system, trigger the analytical, design and 'operational' use of the type. The identification of the type and formal characteristics that go with it are the first diagrammatic pictures of urban transformations. The diagram was then identified and theorised, in the same years of the debate on the scientific nature of urbanism, carried out by Christopher Alexander (1964) with the systematisation of a diagrammatic method to establish the formal component of design, capable of working with patterns and connections between the objects and parts of the city.

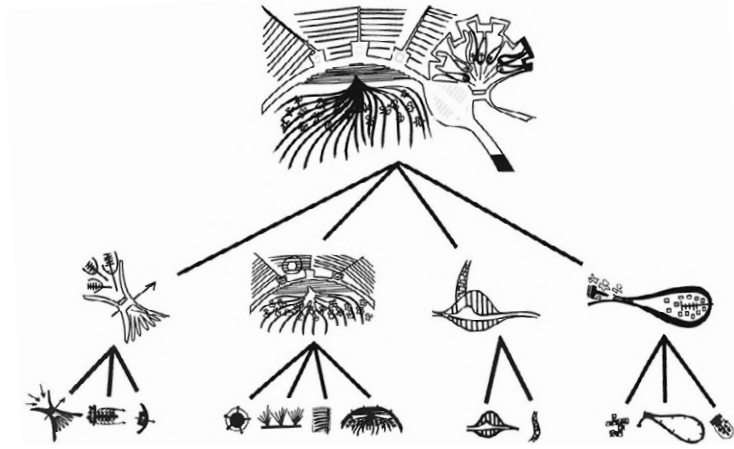
Finally, the model, overlapping both with the type and the diagram, considered as an abstract representation of physical space in a virtual one, stands as a result of a rules and symbols system, capable of describing and controlling a phenomenon or an evolving reality (Terzidis, 2015). Type, diagram and model, in these different studies, are considered both design and analysis tools. The morphogenic and analytic roles of type, diagram and model in the urban project are the most important results of these studies investigating the logic of the form. The contemporary perspective of the evolution of these studies consists



CASE 案例	A Traditional Buildings (Before 1842) 传统建筑 (1842年之前)				B Renewed Buildings (Early Socialism) 填入式改造 (早期社会主义)		C Renewed Buildings (1980s-1990s) 成片式改造 (八九十年代)	
	A1 Listed Conservation 保护建筑		A2 Non-listed Residential 居住改造非保护建筑		Type	Model	Type	Model
	Type	Model	Type	Model				
GROUP 1 Block around								

**Fig. 8** | Dynamism of type and ability to imagine urban form: reconstructive diagram of the main diachronic mutations of the basic type (credit: image processed by the Authors based on Caniggia and Maffei, 1979).

**Fig. 9** | The role of the type in the morphogenic process: type as a synthesis of the form (source: Trisciuglio, 2020).



**Fig. 10** | Representation of logic structures forming the design process (source: Alexander, 1964).

Next page

**Fig. 11** | Roles of the type, diagram and model to integrate morphological elements into the parametric process of urban forms generation (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

**Fig. 12** | Solution cluster creation process and consequent selection process: 'search then sort' (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

in using the logical clarification of the morphogenesis processes to implement computational and parametric design processes for urban transformations.

**Method** | The turn occurring in the urban project process from analogic to digital essentially follows two different methodologies. The first methodology envisages the creation of new forms starting from the demonstration of compositional rules and standards capable of expressing the aims of the project. The second methodology envisages the creation of a set of variables of forms based on the matching with paradigmatic data/examples sets.

Within the framework of the Transitional Morphologies Joint Research Unit research activities, coordinated by professors Li Bao and Marco Trisciuglio, developed by the Politecnico di Torino and the Southeast University Nanjing (China) in 2018, accurate experimentations have been carried out using both methodologies. Therefore, the approach chosen was abductive to research, in the sense coined by Charles Sanders Peirce (quoted in Hartshorne, Weiss and Burks, 1931-1958), starting from precise results considered paradigmatic to the definition of more general themes and critical issues to address in future research. The method used in the single case studies depended on many factors, such as the project scale and the types of project requirements as well as the institutional context of the experimentation.

The first experimentation<sup>2</sup>, carried out in the frame of the so-called third mission, aimed at the automatic creation of gym layouts responding to precise functional and perceptual requirements defined by the clients. In this case, the method used was the creation of a rich database of images, showing the functional type of the gym, producing a cluster of solutions (Fig. 4), by using an image-based generative model (Para et alii, 2021).

Another experimentation<sup>3</sup>, with a more speculative nature – made possible by the internationalisation fund received for the partnership projects of Politecnico di Torino (2017-2020) and Southeast University (2018-2019) – has worked on the possibility to generate urban forms starting from diagrams and rules to interpret and re-elaborate urban types previously identified to generate new design proposals on a planivolumetric level in urban regeneration processes. This subject dealt with collective project experimentations on the emergency housing subject and its needs for flex-

ibility and quick reconfiguration of project proposals also on an urban scale (Figg. 5-7).

The research, still in the initial stage, does not aim to build a univocal methodology to integrate formal and spatial data in the processes of parametric and computational design of the city, but to develop the potentiality of Parametric Design Thinking (Oxman, 2017) as a tool for the urban project. The different experimentations have quickly highlighted the, at least apparent, limit of this type of approach that, as it cannot incorporate all the requirements that make up the design program, some of which are even impossible to clarify, results in a set of possible solutions and not just one solution.

At the end of this cluster of solutions, the intervention of the designer is necessary to select the most suited one. The final aim of the research is to enhance the project process by translating formal conditions into standards based on types, diagrams and models allowing them to become elements of the computational language. The experimentations carried out up to this day in this sense are limited to urban types of the consolidated European city and have been developed in a non-systematic way, but aimed to make potentialities and problems of scientific research emerge.

**Type as the synthesis of the form** | The concept of type in architecture, considered sometimes as a static object resulting from a set of rules, is described already by Gianfranco Caniggia in 1979 as 'type deformity' and 'deviances' hence foreshadowing its dynamism and transformative capacity based on the project (Caniggia and Maffei, 1979; Fig. 8). The concept of type is increasingly relevant in the contemporary debate on informatisation of the project processes. The typological and morphological research, aiming at a computational design based on algorithmic-mathematical design, introduces the complexity of the architectural artefact through the concept of genotype, encapsulating formal and functional parameters in it (Ventura, 2015).

The role of the type in the morphogenetic process as synthesis of the form is to highlight the invariants in the spaces layout, but also to outline the evolution of urban morphology by foreshadowing a variety of solutions (Trisciuglio, 2020; Fig. 9). Today, we can 'teach' a machine to recognise these invariants through the creation of databases with examples containing the invariants. Then, the computational tool will be able to

create a set of solutions for these invariants. This use of the type within the computational process can be applied both to functional and morphological types and requires a prior elaboration of a dataset with a sufficiently high number of examples to represent the variety and complexity of the type under discussion (Hu et alii, 2020).

**Diagram as the expression of connections between formal elements** |

Over the last decades, since Eisenman, the diagram was developed as generative medium within the architectural design process (Gleiter and Gasperoni, 2019), and not only computational. The definition comes from the distinction made by Eisenman (1999) in his book *Diagram Diaries*. Besides the analytical function of the diagram, he recognised its generative function, able to enrich architecture with new meanings with the aim to transform the purpose of the project. Hence, the generative diagram is not only explicative but enables to define and understand the hidden and latent components of the project. In particular, in the morphogenetic process, the diagram is presented as a useful tool to explain the connections between the elements of the whole system (Stjernfelt, 2007).

Recognising logic structures that guide the design process and the planning problems leads to what Alexander (1964) has called 'loss of innocence' in which each design decision at the formal level is given specific importance (Fig. 10). Through the diagram it is possible to define actions, connections and dynamics of the formation process. In particular, when the use of the diagram is considered in the morphogenetic process, its importance emerges as a tool in the transformation and generation of new forms of the architectural design vision, translating information and data into forms (Gleiter and Gasperoni, 2019).

The diagram can be described as the reiteration of a deductive process that, working by trial and error, leads to the creation of a new vision (Stjernfelt, 2007) of architectural forms. The role played by the diagram in the morphogenetic process is the clarification of the connections between the formal elements, but also the connections within the same elements, to generate new forms and overcome the static vision of the creation of the form (Armando and Durbiano, 2019). The role of the diagram becomes fundamental in algorithmic design, that is the aspect of the computational project generating new forms from rules, mainly mathematical (Caetano, Santos and Leitão, 2020).

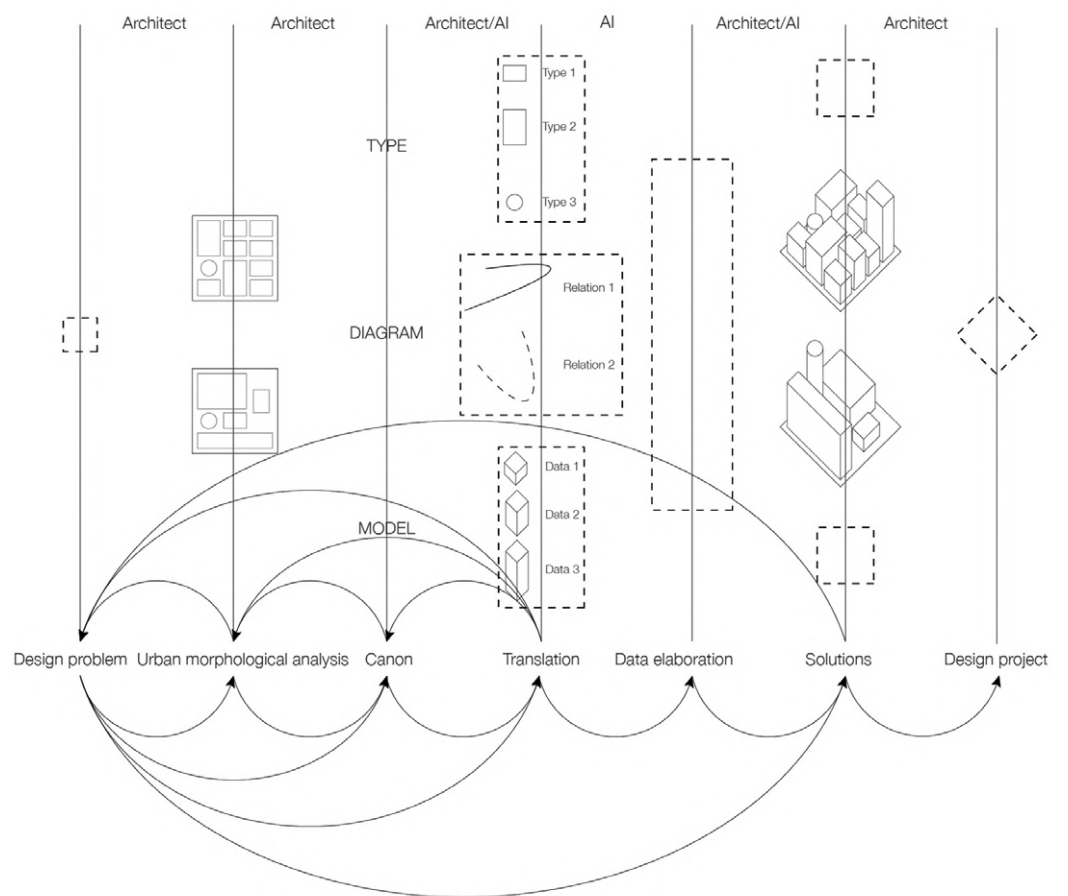
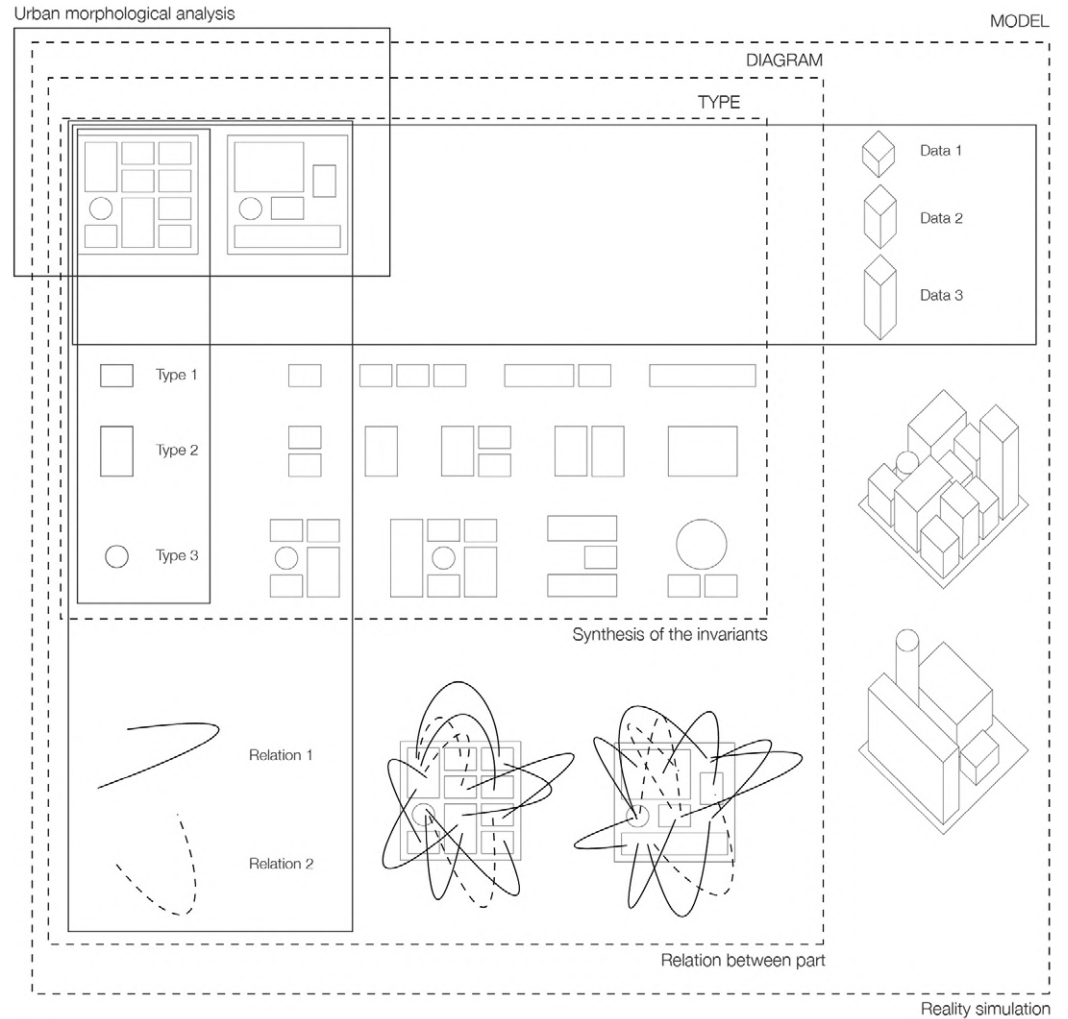
**Model as the base of reference data** | Here the model is considered the product of a digital simulation of different kinds of data merging into the project. The obtained virtual model allows the designer, but also laymen, to 'see', evaluate and work on the spatial results of the project process. In the computational process, the project inputs are not implicit considerations in the mind of the designer, but become explicit data, translatable into electronic inputs entering the design project and handled by the designer (Ventura, 2015); they become part of a virtual simulation model, capable of describing real phenomena with the aim to vary and manipulate parameters to develop new design scenarios (Terzidis, 2015).

The digital model is the common thread between the numerical language that can be interfaced with calculation and the visual character of immediate comprehension for the designer. The algorithmic relation between the digital model and the project parameters allows the designer to modify it in real-time with specific works (scaling, permutation, deformation) and the contemporary control of quantitative parameters linked to the project (Calvano, 2015).

**Conclusions** | The generative approach to design does not envisage just one result, but the creation of solutions set out in what DeLanda (2016) calls 'space of possibility'. The design leads to a generative process of the form, that is no longer unique and essential, but mirrored in multiple configurations (Ventura, 2015). Parametric Design Thinking, defined as the associative process of geometric concepts (Woodbury, 2010), uses an interface permitting to see the algorithmic structure of the creative process. The attempt to incorporate in this process not only quantitative data (size, performance, norm) but also formal standards, raises the issue of translating these morphologic data and of breaking down and re-articulating the design process accordingly. The deconstruction of the project will enable to reconsider the action of the designers in time within the process (Armando and Durbiano, 2017) and their relation with computational tools.

The hypothesis here described is that a fundamental aspect of the current digital turn is the translation of morphological aspects of the city with abstraction tools capable of connecting with the computational language. With this purpose, the paper proposes the use of the type, diagram and model assigning to each one of them a specific value (Fig. 11) to integrate morphologic elements into the parametric process of urban forms generation. Following this reasoning, the type is seen as the element capable of synthesising the invariants of the urban form and translating them into patterns that can potentially be integrated into algorithmic logic. The second tool proposed is the diagram, useful to highlight the connections between the parts characterising the urban morphology and fundamental to write the codes on which the parametric project is based. Finally, the model is a fundamental simulation tool to trigger the revision and feedback processes that characterise the circularity and reiteration of the parametric approach.

Each one of these tools – type, diagram and model – carries some risks for the project process. The use of the type as a synthesis of the form



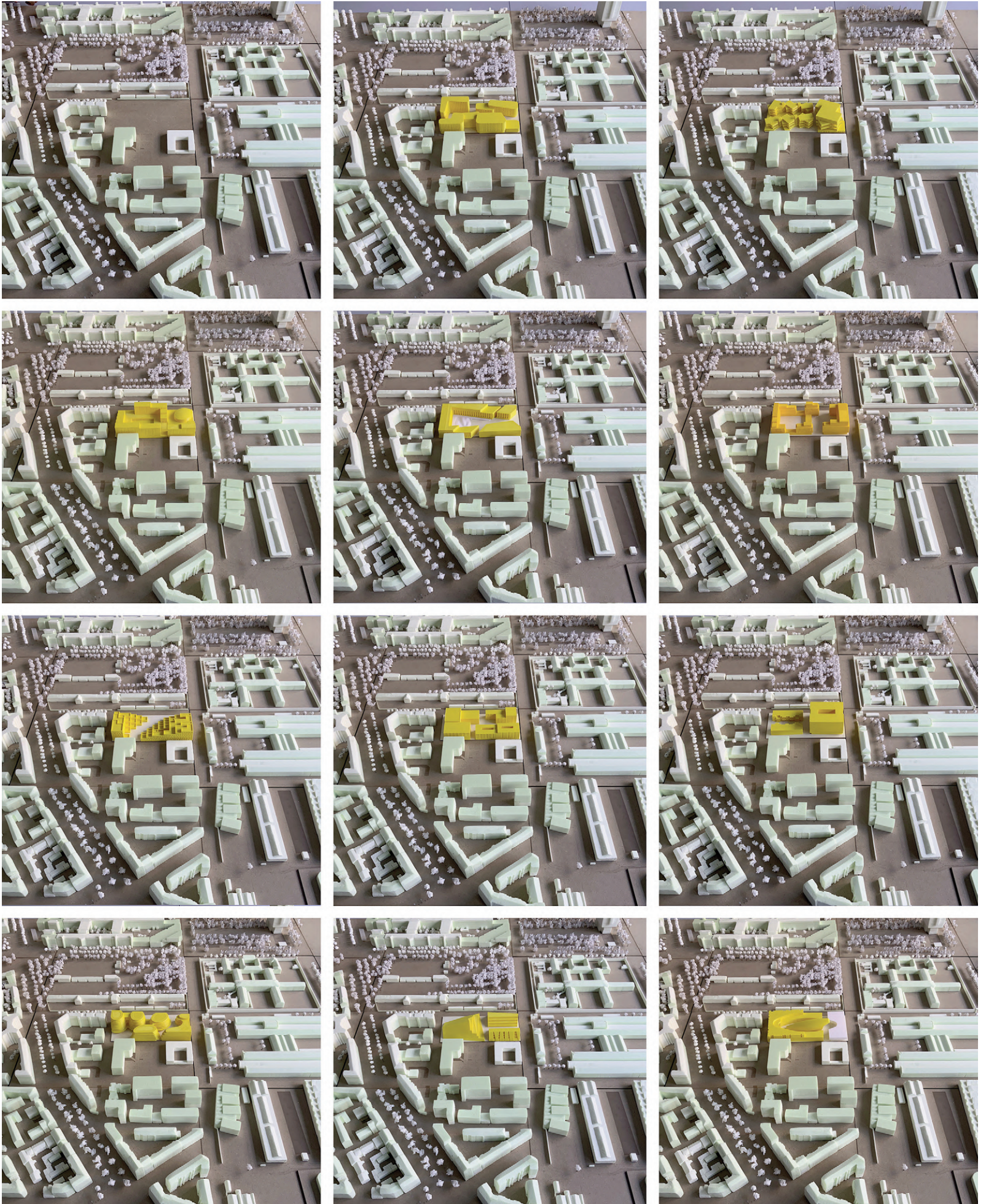


Fig. 13 | Search then sort. Multiple project solutions for the Westinghouse area in Torino (Atelier Design and Modeling, Prof. M. Barosio and Prof. M. Lo Turco, a.y. 2021/2022, Politecnico di Torino).

can lead to an excessive immobility of the considered forms, while the role of the diagram in showing the connections between formal elements can lead to an excessive extraction and a progressive distancing from the specificities of the context, taking the direction of self-referential morphogenesis, while the use of models as interactive verifi-

cation of project solutions can give a deceptive feeling of control over the final solution.

The apparent limit of this approach taken as a whole – that is the inability to find a unique and optimal solution – is also its main potentiality. The wealth of solutions proposed and configured by the computational design processes enables to

stimulate design considerations out of the framework of a classification approach (Fig. 12). The exhortation by Mario Carpo (2017) ‘search don’t sort’ – urging to avoid taxonomies to explore unlimited universes of solutions – could be transformed in ‘search then sort’, highlighting the potential of the approach.

## Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors. However, the introduction and the paragraphs ‘State of the art’ and ‘Diagram as the expression of connections between formal elements’ were written by R. Gugliotta, and the paragraphs ‘Method’, ‘Type as the synthesis of the form’, ‘Model as the base of reference data’ and ‘Conclusions’ by M. Barosio.

## Notes

1) The term innovability<sup>®</sup> is a trademark of Enel SpA. All rights reserved to Enel SpA.

2) Research Agreement between Politecnico di Torino and Basic Fit: FIT-THINGS – Finding Information Technologies To Heighten Interoperable New layout Generative design Solutions; Scientific Supervisor: Professor M. Lo Turco.

3) Transitional Morphologies Joint Research Unit, Politecnico di Torino (Italy) and Nanjing Southeast University (China); Scientific Supervisors: Professor B. Li and Professor M. Trisciuglio.

## References

- Al Qeisi, S. and Al-Alwan, H. (2021), “Generative Urban Design Concepts and Methods – A Research Review”, in *1st International Conference on Engineering Science and Technology (ICEST 2020)*, 23-24 December 2020, vol. 1090, Samawah, Iraq, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012085 [Accessed 08 September 2022].
- Allen, S. (2009), *Practice architecture, technique representation*, Abingdon, Routledge.
- Alexander, C. (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, Harvard University Press.
- Armando, A. and Durbiano, G. (2019), “Disegnare oggetti, disegnare architetture – Due forme dello schema per il progetto”, in *Philosophy Kitchen EXTRA*, vol. 3, pp. 23-34. [Online] Available at: doi.org/10.13135/2385-1945/4266 [Accessed 08 September 2022].
- Armando, A. and Durbiano, G. (2017), *Teoria del progetto architettonico – Dai disegni agli effetti*, Roma, Carocci.
- Barosio, M. and Gugliotta, R. (2020), “Dal tipo al diagramma – La rappresentazione del dato come strumento euristico per il progetto di architettura”, in *Dienne – Building Information Modeling, Data & Semantics*, vol. 7, pp. 28-39. [Online] Available at: dienne.org/en/2021/01/07/barosio-gugliotta-en/ [Accessed 08 September 2022].
- Bassolino, E. and Ambrosini, L. (2016), “Parametric environmental climate adaptive design – The role of data design to control urban regeneration project of Borgo Antignano, Naples”, in *Procedia / Social and Behavioral Sciences*, vol. 216, pp. 948-959. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.092 [Accessed 08 September 2022].
- Berghauer Pont, M. Y. and Haupt, P. A. (2021), *Space-matrix – Space density and urban form*, Rotterdam, NAI010. [Online] Available at: resolver.tudelft.nl/uuid:0e8cdd4d-80d0-4c4c-97dc-dbb9e5ee7c2 [Accessed 08 September 2022].
- Caetano, I., Santos, L. and Leitão, A. (2020), “Computational design in architecture – Defining parametric, generative, and algorithmic design”, in *Frontiers of Architectural Research*, vol. 9, issue 2, pp. 287-300. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008 [Accessed 08 September 2022].
- Cai, C., Zifeng, G., Baizhou, Z., Xiao, W., Biao, L. and Peng, T. (2021), “Urban Morphological Feature Extraction and Multi-Dimensional Similarity Analysis Based on Deep Learning Approaches”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 12, article 6859, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13126859 [Accessed 12 October 2022].
- Calvano, M. (2015), “Modelli rappresentati e algoritmi tipologici | Represented models and typological algorithms”, in *Scienze per l’Abitare / Planning Design Technology*, vol. 4, pp. 157-161.
- Caniggia, G. and Maffei, G. L. (1979), *Lettura dell’edilizia di base*, Venezia, Marsilio.
- Carpo, M. (2017), *The second digital turn – Design beyond intelligence*, Cambridge London, The MIT Press.
- Chiodo, S. (2011), *Estetica dell’architettura*, Roma, Carocci.
- De la Vega Hernández, I. M. and Barcellos de Paula, L. (2021), “Scientific mapping on the convergence of innovation and sustainability (innovability) – 1990-2018”, in *Kybernetes*, vol. 50, issue 10, pp. 2917-2942. [Online] Available at: doi.org/10.1108/K-05-2020-0328 [Accessed 12 October 2022].
- DeLanda, M. (2016), *Assemblage Theory*, Edinburgh University Press.
- Dibble, J., Prelorendjos, A., Romice, O., Zanella, M., Strano, E., Pagel, M. and Porta, S. (2017), “On the origin of spaces – Morphometric foundations of urban form evolution”, in *Environment and Planning B – Urban Analytics and City Science*, vol. 46, issue 4, pp. 707-730. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2399808317725075 [Accessed 08 September 2022].
- Easterling, K. (2016), *Extrastatecraft the power of infrastructure space*, London New York, Verso.
- Eisenman, P. (1999), *Diagramm Diaries*, New York, Universe Pub.
- Fleischmann, M., Romice, O. and Porta S. (2020), “Measuring urban form – Overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities”, in *Environment and Planning B – Urban Analytics and City Science*, vol. 48, issue 8, pp. 2133-2150. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2399808320910444 [Accessed 08 September 2022].
- Gasperoni, L. and Gretsche, S. (2022), *Experimental diagrams in architecture*, Construction and Design Manual, Berlin, DOM.
- Gleiter, H. J. and Gasperoni, L. (2019), *Architektur und Diagramm – Ein theoretisches Experiment*, Berlin, Universitätsverlag der TU Berlin.
- Gausa, M. and Vivaldi, J. (2021), *The Threefold Logic of Advanced Architecture – Conformative, Distributive and Expansive Protocols for an Informational Practice – 1990-2020*, United States, Actar D.
- Giallocosta, G. (2019), “Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations”, in *Agathón / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 28 September 2022].
- Hartshorne, C., Weiss, P. and Burks, A. (eds) (1931-1958), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Harvard University Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: colorsemiotica.files.wordpress.com/2014/08/peirce-collectedpapers.pdf [Accessed 08 September 2022].
- Hu, R., Huang, Z., Tang, Y., van Kaick, O., Zhang, H. and Huang, H. (2020), “Graph2Plan – Learning Floorplan Generation from Layout Graphs”, in *ACM Transaction on Graphics*, vol. 39, n. 4, article 118, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3386569.3392391 [Accessed 08 September 2022].
- Muratori, S. (1959), *Studi per un’operante storia urbana di Venezia*, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato.
- Oxman, R. (2017), “Thinking difference – Theories and models of parametric design thinking”, in *Design Studies*, vol. 52, pp. 4-39. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001 [Accessed 08 September 2022].
- Para, W. R., Guerrero, P., Kelly, T., Guibas, L. J. and Wonka, P. (2021), “Generative Layout Modeling using Constraint Graphs”, in *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 6690-6700. [Online] Available at: doi.org/10.48550/arXiv.2011.13417 [Accessed 08 September 2022].
- Peeters, A. and Yoram, E. (2012), “Automated recognition of urban objects for morphological urban analysis”, in *Computers Environment Urban System*, vol. 36, issue 6, pp. 573-582. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compenurb.2012.05.002 [Accessed 12 October 2022].
- Pinotti, A. and Tedesco, S. (2013), *Estetica e scienze della vita*, Milano, Raffaello Cortina.
- Stjernfelt, F. (2007), *Diagrammatology – An investigation on the borderlines of phenomenology, ontology, and semiotics*, Springer. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4020-5652-9 [Accessed 08 September 2022].
- Terzidis, K. (2015), *Permutation design – Buildings, Texts, and Contexts*, Routledge, New York.
- Trisciuglio, M. (2020), “Nota sulle morfologie urbane transizionali come critica agli studi urbani in ambito cinese – La mappa tipologica di Hehua Tang a Nanchino | Note on the transitional urban morphologies as a criticism of urban studies in the Chinese context – The typological map on Nanjing Hehua Tang”, in *U+D | Urbanform and Design*, vol. 14, pp. 14-27. [Online] Available at: doi.org/10.48255/J.U.D.14.2020.003 [Accessed 08 September 2022].
- Trisciuglio, M., Barosio, M., Ricchiardi, A., Tulumen, Z., Crapolicchio, M. and Gugliotta, R. (2021), “Transitional Morphologies and Urban Forms – Generation and Regeneration Processes – An Agenda”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 11, article 6233, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13116233 [Accessed 08 September 2022].
- Ventura, D. (2015), “Genotipo Architettonico – L’evoluzione dei concetti Tipo e Modello nell’architettura contemporanea | The Architectural Genotype – The evolution of the concepts Type and Model in the contemporary architecture”, in *Scienze per l’Abitare / Planning Design Technology*, vol. 4, pp. 134-150.
- Witt, A. (2016), “Cartographic Metamorphologies; or, Enter the RoweBot”, in *Log*, vol. 36, pp. 115-124. [Online] Available at: jstor.org/stable/26323701 [Accessed 08 September 2022].
- Woodbury, R. (2010), *Elements of Parametric Design*, Routledge.