VERSUS HABITAT

multi-agent spatial negotiation for

topology-aware architectural assemblages

VERSUS HABITAT

multi-agent spatial negotiation
for topology-aware architectural assemblages

Tesi di Laurea in Architettura e Composizione Architettononica III
Corso di Ingegneria Edile - Architettura
Scuola di Ingegneria e Architettura
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Relatore:
Prof.Alessio Erioli
Candidato:
Andrea Bonafede

aa 2019-2020
Sessione straordinaria

SOMMARIO

ABSTRACT 3

0 | INTRODUZIONE 4

Rapporti simbiotici 5

Sistemi emergenti 15

1 | INQUADRAMENTO TEORICO 15

interazione, deposizione, accumulo 19

2 | DESIGN PROCESS 19

Ambiente - informazione 29

Costruzione stigmergica 37

Volumetria 45

assemblaggio attivo 51

Popolazione singola 59

Competizione spaziale 75

3 | SPECULAZIONE ARCHITETTONICA 105

Traduzione delle unità spaziali 105

4 | CONCLUSIONI 147

REFERENCES 151

ABSTRACT

Partendo dal rapporto ormai imprescindibile tra il progettista e l'ambiente di lavoro digitale, la tesi propone uno studio delle potenzialità di un sistema multi agente progettato con regole di natura simbiotica. L'obiettivo è la creazione di una sensibilità progettuale autonoma del sistema, scaturita dalle interazioni multiple fra i diversi attori nel processo di costruzione.

Il sistema digitale è stato progettato con due agenti principali che comunicano indirettamente seguendo regole di stigmergia, quindi modificando l'ambiente con il proprio "segnale", riconosciuto dai loro simili e dagli altri agenti. Questi hanno specificità differenti così come organismi diversi instaurano rapporti simbiotici in uno stesso habitat.

Vengono introdotte nel sistema una popolazione di agenti costruttori il cui scopo è depositare elementi in funzione della quantità di segnale rilevata, ed una seconda di agenti regolatori che, alterando il segnale dei primi, stabilizza il processo di deposizione. Questo dualismo apparente risulta essere una continua negoziazione per l'occupazione dello spazio che viene nel tempo modificato sia fisicamente, sia a livello informativo.

Gli elementi depositati si assemblano in funzione dei possibili agganci previsti dalla geometria, memorizzando inoltre la quantità di segnale locale. Questi non rimangono però "inerti" e rilasciano anch'essi un segnale capace di attrarre le altre popolazioni presenti dello spazio.

L'assemblaggio che ne deriva viene poi tradotto in unità spaziali composte da set di partizioni architettoniche che variano in funzione del segnale immagazzinato dagli elementi.
Il risultato finale è un'organizzazione dello spazio su più livelli a connettività e circolazione distribuita.
La speculazione architettonica trascende una definizione tipologica e si fonde con un concetto di città tridimensionale le cui proprietà e limiti risiedono nelle regole di interazione fra i suoi elementi e le informazioni da loro trasmesse.

0 | INTRODUZIONE

RAPPORTI SIMBIOTICI

“We want to live in technology and can only live technologically, because a separation between us and the world is unbearable”

(Spuybroeck, 2008)

La tecnologia in senso letterale è definibile come un medium, uno strumento che l’uomo progetta per risolvere un problema o estendere le proprie capacità per raggiungere un desiderio.
Non è possibile affermare che l’uomo possa vivere a contatto con la natura senza la tecnologia in quanto noi stessi ne siamo parte integrante quanto i nostri artefatti. Alcuni di questi possono essere fisici come gli strumenti meccanici, altri culturali, come il linguaggio e senza questi risulterebbe impossibile indaga-

Ivan Sutherland using Sketchpad in 1962
theartsmechanical.wordpress.com

re il mondo in cui viviamo ed agire secondo gli stimoli che ci offre.
L'evoluzione dell'elettronica e la nascita dei computer ha profondamente sconvolto l'ecologia della società. La tecnologia digitale da esse derivata è diventata parte di fondante del network culturale umano.
L'intimo rapporto formatosi con i sistemi digitali ha completamente cambiato nell'ultimo secolo il processo creativo del progettista. Inizialmente i primi sistemi di disegno CAD (Computer Aided Drafting) furono pensati come strumenti capaci di aiutare l'uomo nella prassi operativa del disegno. La rivoluzione tecnologica successiva ha portato in maniera repentina ad un cambio di paradigma nella prassi progettuale nella quale la tecnologia digitale non solo risulta essere uno strumento imprescindibile del processo creativo ma essa è divenuta estensione della nostra cultura tecnica.
L'interfaccia digitale è fondamentalmente un medium visivo ma esso è

Utilizzo della realta aumentata come aiuto per la costruzione. Software Fologram

pensato per descrivere la realtà ed in quanto tale risulta essere strumento di creazione (di essa). Questa tipologia di strumento diventa pian piano parte del corpo, del nostro raggio di azione, dei nostri sogni ed allucinazioni (Spuybroeck, 2008).

Il rapporto che l'uomo ha dunque sviluppato con il digitale è divenuto simbiotico: una separazione da esso provocherebbe una perdita non recuperabile in quanto sistema non è più solo strumento operativo ma è divenuto una protesi della sensibilità con la quale indaghiamo e percepiamo la realtà.

Definita quindi la natura del rapporto con questa tecnologia, la ricerca conduce un percorso nel quale si vogliono indagare le potenzialità di un sistema simbiotico digitale progettato per costruire. Le dinamiche di simbiosi vengono mano a mano implementate seguendo gli esempi provenienti dal mondo vegetale e animale cercando di adattarle all'ambiente astratto di simulazione.

SIMBIOSI

Un pesce pagliaccio nel suo ospite, l'anemone (relazione mutualistica)

Dal greco "vivere insieme" , comprende in maniera estesa in biologia ed ecologia le tipologie di relazioni inter ed intraspecifiche. Indica quindi le varie modalità di convivenza che intercorrono tra organismi di specie diversa sia essi animali o vegetali. Queste relazioni vengono classificate in base al loro meccanismo o alla loro intensità, durate e direzione dei loro effetti [1].

Un ambiente ricco di interazioni simbiotiche aventi gradi e direzioni di interazione differenti è la Rizosfera (dal greco "sfera della radice"), con il quale si indica l'intorno del suolo di una pianta ed è una parte dello spazio direttamente influenzata dalle secrezioni delle radici e dai microorganismi che ci vivono che compongono il *microbioma della radice.*

Rizosfera di una radice (sopra), Micorizza (a destra)

L'insieme dei prodotti delle cellule vegetali prendono il nome di ***rizodeposizione.*** Questi prodotti organici biologicamente definiti come ***essudati radicali*** comprendono *proteine, zuccheri e scarti rilasciati dalle stesse radici*.
La rizodeposizione permette la crescita delle comunità di microorganismi presenti nella rizosfera ed internamente alle radici della pianta. In questo modo s'instaurano interazioni complesse di simbiosi fra la pianta ed i suoi ospiti e/o fra le altre specie presenti in quel luogo. [2]

MUTUALISMO (+\+)

La ***Micorizza*** è una particolare associazione simbiotica fra funghi e piante dove il fungo colonizza la radice della pianta e nella maggior parte dei casi di tipo mutualistico: il risultato della associazione produce effetti positivi per l'ospite.

La pianta produce zuccheri dalla fotosintesi e li fornisce al fungo come nutrimento, che a sua volta raccoglie dal suolo circostante i sali minarli necessari alla sopravvivenza della pianta.

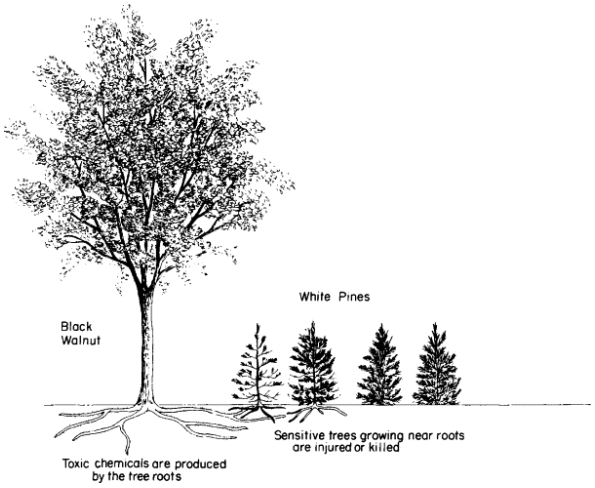
Nel meccanismo di ***presimbiosi*** le radici della pianta rilasciano nella Rizosfera dei ***metaboliti***: prodotti organici del metabolismo della pianta che stimolano la crescita del fungo. Questi inducono le ife, le «braccia» dell'organismo, a crescere verso di loro ed attaccarsi alla radice. L'insieme di queste braccia, o meglio il sistema complesso di ramificazione, prende il nome di ***micelio.***

Trifolium alexandrinum: attraverso le Micorizze riesce a trarre nutrienti in suoli salati [5]

In generale le micorizze aiutano le piante ad estendere il loro dominio di raccolta, estendono la superficie a contatto con la Rizosfera e quindi prelevano quei nutrienti che la pianta da sola non riuscirebbe a prelevare.
Più micorizze vicine possono creare un network fra piante vicine e può innescare anche meccanismi di successione ecologica: il processo di cambiamento di struttura di una specie in una comunità.
Piante con micorizze risultano più difese contro l'attacco di agenti patogeni [3][4].

COMPETIZIONE (-\-)

Nel momento in cui due organismi agiscono uno contro l'altro per ottenere le stesse risorse si può parlare di competizione. Nel mondo vegetale, con il termi-



Esempio di allelopatia tra il noce nero e le piante nelle vicinanze

ne Allelopatia, si indica in generale tutti quelle relazioni negative (principalmente) mediate da sostanze rilasciate dalle popolazioni in competizione. In linea di principio quindi gli agenti del sistema ecologico emettono degli inibitori dei comportamenti del competitore. Se uno dei due ha questa capacità più sviluppata rispetto all'altro, indurrà una riduzione del suo potenziale di crescita e quindi per mantenere l'equilibrio, l'inibito dovrà consumare le risorse più velocemente. (Grover, 2008)

Un esempio con il quale si riferisce spesso al termine sopra citato è quello del noce nero, che produce una sostanza (il juglone) che inibisce la crescita delle piante competitrici nelle immediate vicinanze. (Tattar, 1989)

PARASSITISMO (+\-)

I parassiti sono particolari organismi che possiedono l'abilità di prendere il controllo dell'agente ospite e sfruttarlo per la propria sopravvivenza o riproduzione. Tendenzialmente questi rapporti hanno un ritorno positivo per il parassita e negativo per l'ospite.

Il fungo Ophiocordyceps unilateralis e la formica Camponotus leonardi, condividono lo stesso ambiente nelle foreste equatoriali asiatiche. Nel momento in cui le spore di questo fungo entrano in contatto con una formica di passaggio, penetrano negli spiracoli e rilasciano

Formica camponotus leonardi colonizzata dal fungo dopo essere stata bloccata su uno stelo.

un enzima che ne attacca l'esoscheletro. Il fungo parassita non altera tanto in maniera diretta il cervello della formica, quanto i muscoli ed il sistema recettore dei feromoni.

Questa è portata a vagare in modo casuale, allontanandosi dalla colonia , fino ad arrivare in un habitat congeniale alla crescita del fungo, più in basso nel sottobosco dove c'è più umidità e temperatura minore, tendenzialmente a 25-30 cm dal suolo.

Qui la formica, i cui muscoli rispondono ormai al fungo si aggrapperà alla vena principale di una foglia, compiendo il suo ultimo atto, le ife del fungo prendono il controllo della mandibola tenendola permanentemente chiusa e la formica, ormai morta, verrà divorata dall'interno e il fungo inizierà la sua crescita fino alla germinazione e deposizione delle spore nell'intorno dell'insetto, cosicché il ciclo possa riprendere.

Commensalismi: Foresi fra squalo e remore (sopra) ed Inquilinismo fra un paguro ed il guscio di un gasteropode (a destra)

ALTRE TIPOLOGIE

Le relazioni simbiotiche sono molteplici e non c'è la necessità di entrare nel dettaglio per tutte le rimanenti ma è interessante e utile per la ricerca citarne alcune altre per la direzione e gli effetti del rapporto.

Il ***commensalismo (+\ ..)*** rappresenta una interazione nella quale un essere vivente trae vantaggio dall'altro senza indurre alcune effetto sull'ospite, come nel caso della Foresi dove un animale si attacca ad un altro solo per essere trasportato.

L***'Amensalismo (-\...)*** invece risulta essere una relazione in qui uno dei due agenti subisce un danno senza che l'altro ne risenta in alcun termine, positivo o negativo. Secondo alcuni autori, nell'amensalismo andrebbero ascritte anche le forme di competizione, in cui una specie non danneggia direttamente l'altra ma sottrae risorse o ne esclude l'accesso ad altre. [7]

1 | INQUADRAMENTO TEORICO

SISTEMI EMERGENTI

"*The movement from low-level rules to higher-level sophistication is what we call emergence*."

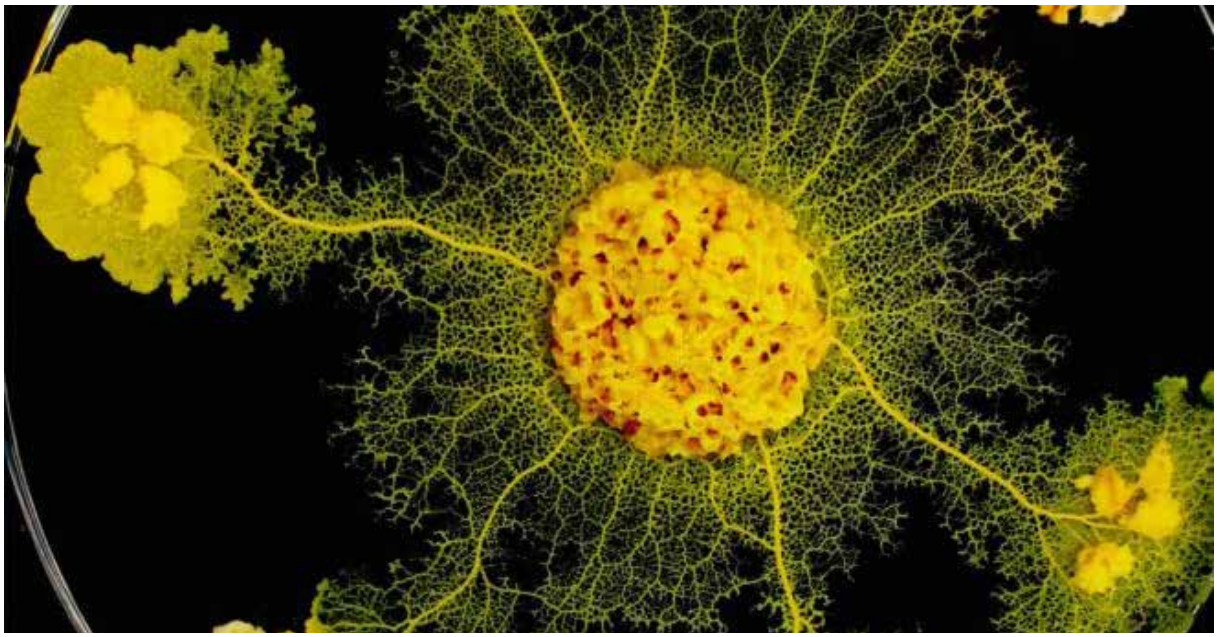
(Johnson, 2001)

In natura esistono fenomeni impossibili da descrivere esclusivamente in qualità di osservatori se non si conosce il processo che li governa (Braitenberg, 1984). L'architettura di un formicaio non è il risultato di un progetto pensato a priori, ma è frutto di interazioni a livello locale fra gli individui della popolazione. Le singole entità del sistema non hanno una coscienza globale dell'ambiente a cui appartengono né rispondono ad ordini imposti dall'alto, ma si muovono e prendono decisioni in funzione delle condi-

Swarm intelligence nella colonia di formiche

zioni locali alterate dal comportamento dei propri simili e dal rilascio di segnali chimici attrattori (feromoni). L'intelligenza della colonia dipende dalla "stupidità" dei suoi componenti (Johnson, 2001).
Quello che noi riconosciamo quindi come ordine globale è il risultato di un sistema emergente che risponde a dinamiche basate su regole locali. In generale questo, produce complessità ad un basso costo di informazioni.

Beni e Wang (1989) definiscono il concetto di Swarm Intelligence come il comportamento collettivo di sistemi decentralizzati, auto-organizzati, naturali o artificiali. Lo studio di questi sistemi viene fatto progettando degli agenti che possano simularne i comportamenti. Un agente può essere visto come qualunque entità in grado di percepire il proprio ambiente attraverso dei sensori ed agendo in esso tramite effettori (Russel&Norvig, 1994).

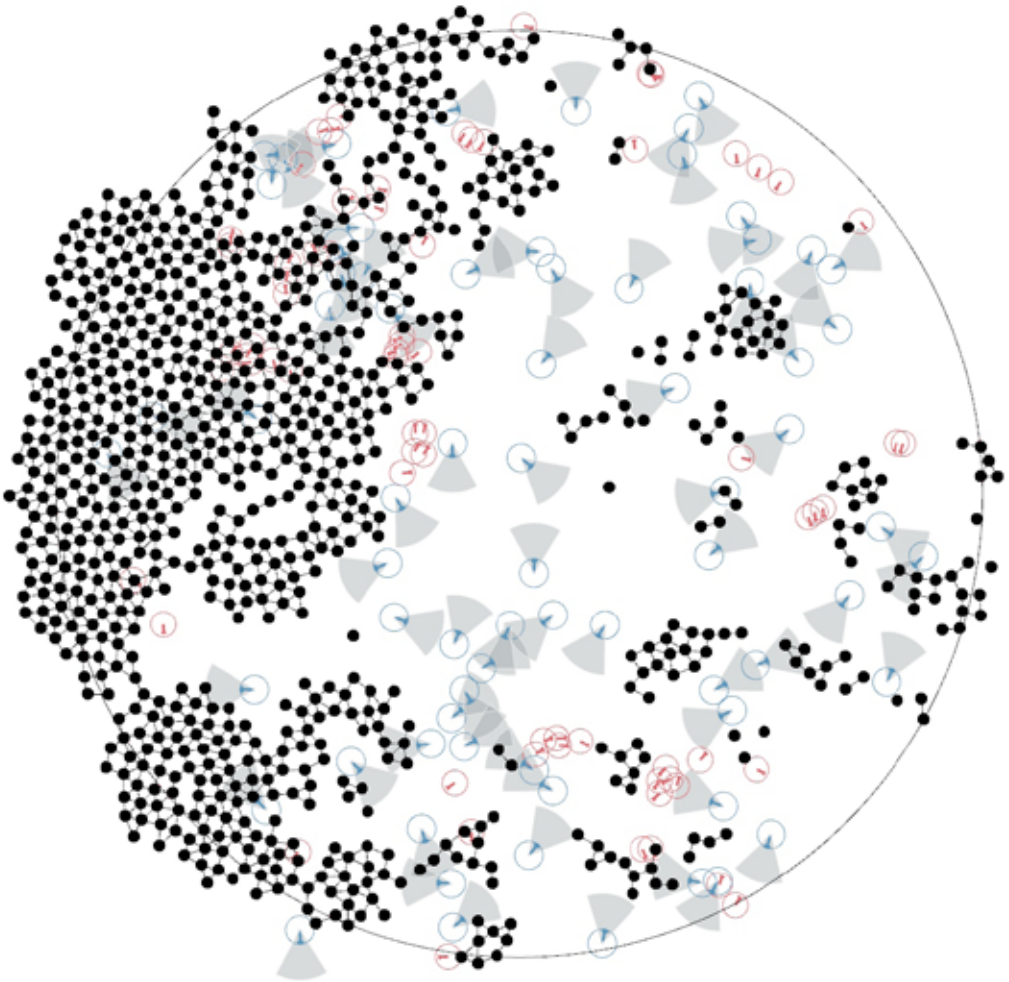


Physarum polycephalum

SISTEMI MULTI-AGENTE

Reynolds (1986) programma un software di simulazione del comportamento degli stormi di uccelli in volo (Boids).
Gli agenti che lui definisce comunicano in modo ***diretto*** agendo secondo tre regole di base che individuano la posizione locale dei vicini ed inducono movimenti di sterzata per la modifica della traiettoria, i cosìddetti “steering behaviours”.

Jones (2010) simula il comportamento del Physarum polycephalum utilizzando un modello stigmergico, di comunicazione fra gli agenti del sistema attraverso la modifica dell’ambiente. Questo risulta essere un metodo ***indiretto*** di trasmissione delle informazione nei sistemi decentralizzati così come fanno le colonie di formiche citate prima o le termiti.



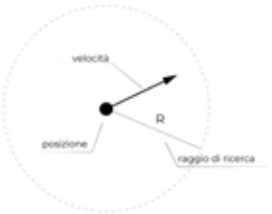
2 | DESIGN PROCESS
INTERAZIONE, DEPOSIZIONE, ACCUMULO

La ricerca è partita studiando l'interazione fra due soggetti con specificità differenti, nella quale uno permettesse all'altro di iniziare un processo di costruzione definito in deposizione, accumulo e successivo assemblaggio.

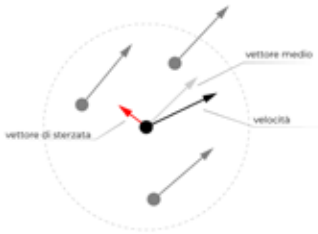
L'architettura del sistema multi-agente viene programmata in linguaggio informatico (C#) in Visual Studio.
La simulazione avviene nell'ambiente digitale di Rhino 6 attraverso la traduzione grafica operata con i componenti personalizzati di Grasshopper. Questa viene svolta attraverso la lettura iterativa del codice che viene compilato nel tempo.

AGENTS

Gli agenti digitali preposti alla simulazione del processo sono geometricamente definite attraverso un punto, che ne rappresenta la posizione nello spazio ed un vettore velocità che ne indica la traiettoria.
Questi possiedono capacità di visione per potersi orientare nello spazio , determinare la presenza di qualsiasi riferimento che possa indurre una cambio di velocità e quindi traiettoria (ostacoli fissi o mobili come altri agenti).



Agent



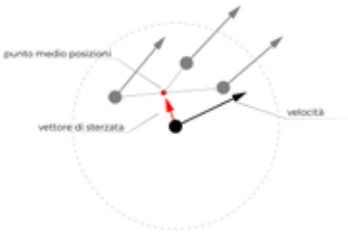
Allineamento

COMPORTAMENTI

Utilizzando la loro abilità di ricerca nell'ambiente, gli agenti possono trovare i propri simili nell'intorno della loro posizione ed innescare comportamenti di sciame. Vengono quindi implementate le regole definite da Reynolds come *steering behaviours :*

- ***Allineamento:***

Allineamento al vettore medio dei vicini .



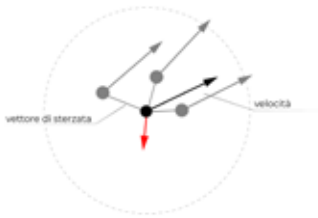
Coesione

- ***Coesione:***

Cambio di traiettoria verso il punto medio delle posizioni dei vicini che compongono lo sciame.

- ***Separazione:***

Azione di repulsione per evitare scontri con i componenti dello sciame.



Separazione

EMITTER

Il primo genere di popolazione introdotta viene chiamato ***Emitter.*** La sua funzione è quella di indicare lo spazio costruibile.

Questa prima classe di agenti modifica l'ambiente rilasciando un *segnale,* inizialmente definito attraverso una traccia delle successive posizioni attraversate in un intervallo di tempo Δt (N iterazioni).

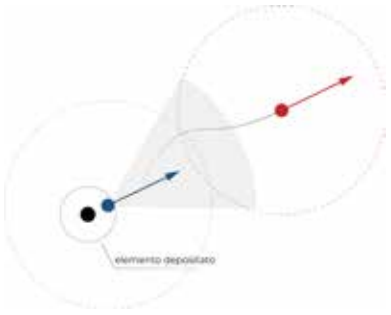
Emitter

Builder

BUILDER

Il secondo genere di agenti è definito ***Builder.*** Assume la funzione di agente costruttore: *nel momento in cui rileva la traccia dell'Emitter può depositare un elemento, inizialmente definito con un punto corrispondente alla sua posizione.*

La ricerca del segnale attuatore del processo avviene grazie ad un cono visuale maggiore del raggio R di ricerca ma con angolo limitato di 60°.



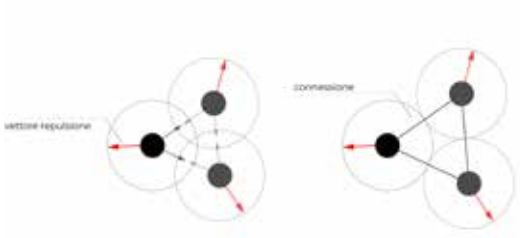
Individuazione traccia Emitter e conseguente deposizione

ELEMENTO

Gli elementi depositati possiedono un raggio di interazione o occupazione dello spazio che permette loro di individuare i vicini per attuare un rilassamento [8] fino all'equilibrio.

Raggiunta la stasi, vengono connessi fra di loro per individuare i clusters.

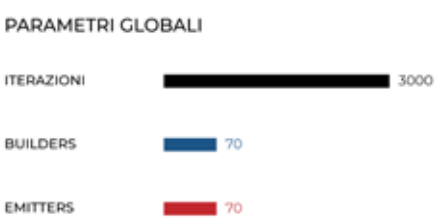
Questi diventano poi ostacolo da evitare per gli agents.



Ricerca, rilassamento e connessione

ESPLORAZIONI BIDIMENSIONALI

Viene settato un sistema composto da egual numero (70) di Emitters e Builders costretti a interagire in uno spazio bidimensionale circolare abbastanza ristretto. Qui vengono alternativamente attivati i comportamenti di sciame o “Flocking Behaviours” per l’uno o l’altro genere di agenti.
Il sistema viene valutato dopo 3000 iterazioni.
Dalle sperimentazioni emerge un accumulo caotico dall’assenza di comportamenti di sciame mentre l’attivazione simultanea nelle due popolazioni tenda ad un’occupazione più ordinata e compatta dello spazio.
Il comportamento di *Flocking* applicato solo agli agenti *costruttori* porta ad una distribuzione più granulare degli elementi mentre lo stesso, attivato solo negli agenti *emettitori* porta ad una distribuzione del costruito solo su una parte prevalente dello spazio.



Start set: spazio circolare, posizioni ed orientamenti casuali

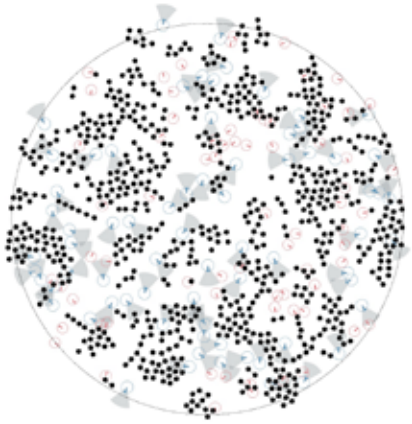
TEST | 01: *No flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 719

ELEMENTI SINGOLI 17

CLUSTERS 56

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 12



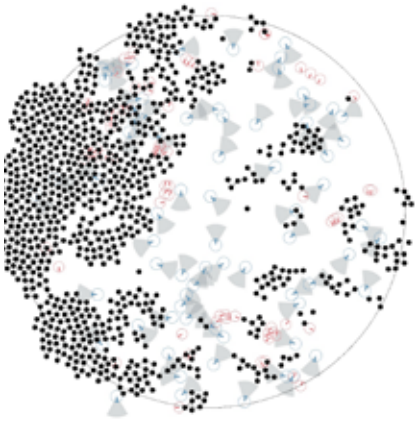
TEST | 02: *Emitters flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 862

ELEMENTI SINGOLI 12

CLUSTERS 27

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 31



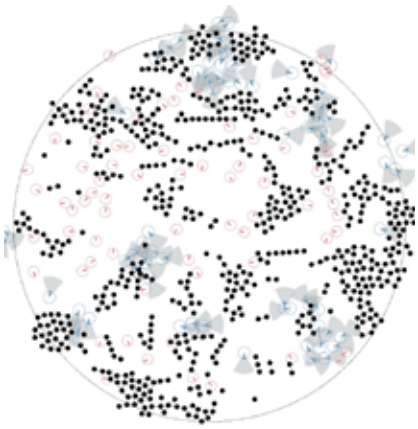
TEST | 03: *Builders flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 604

ELEMENTI SINGOLI 5

CLUSTERS 46

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 13



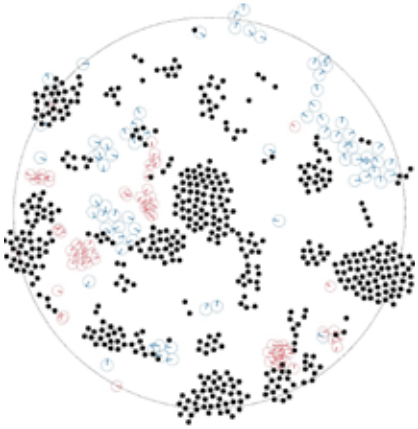
TEST | 04: *Flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 515

ELEMENTI SINGOLI 11

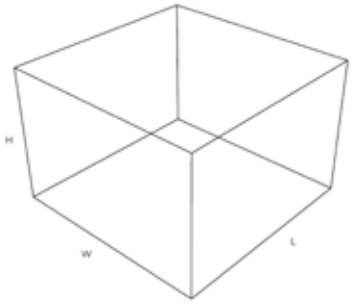
CLUSTERS 27

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 13



ESPLORAZIONI TRIDIMENSIONALI

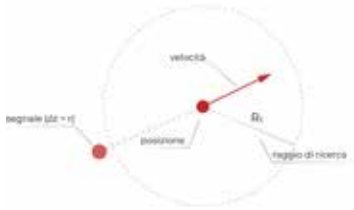
Lo spazio di simulazione diviene un parallelepipedo a base quadrata e viene data agli agenti la possibilità di muoversi in tutte le direzioni. Le proprietà di visione e ricerca rimangono inalterate passando quindi da una visione planare ad una sferica.



Spazio tridimensionale di simulazione

EMISSIONE PERIODICA

Si nota che usare la traccia degli Emitters come segnale risulti poco efficiente e computazionalmente dispendioso. Si opta quindi per un'emissione periodica di un segnale identificato con un punto.

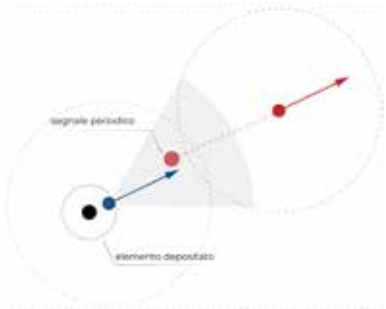


Rilascio segnale puntuale

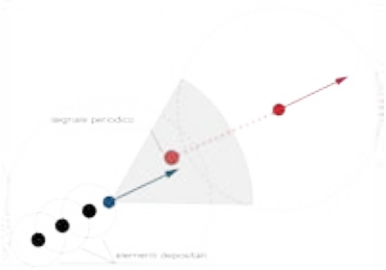
DEPOSIZIONE: CAPACITÀ E MODALITÀ

Per cercare di gestire il processo di deposizione e conseguente accumulo del sistema, si aggiunge ai Builders una ***capacità massima*** di deposizione. Al processo vengono aggiunte due possibili modalità di costruzione:

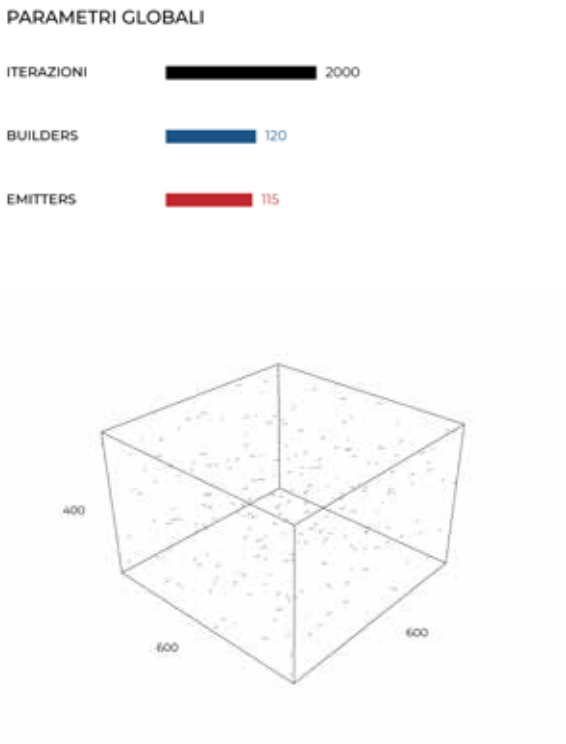
1. ***Controllata:*** i Builders rilasciano elementi solamente una volta al momento del riconoscimento del segnale.
2. ***Multipla:*** i Builders rilasciano elementi fino a che il segnale rilevato rimane nell'intorno visibile.



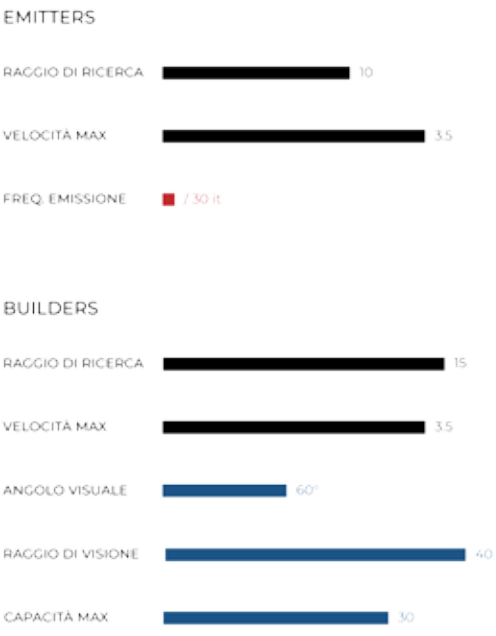
Deposizione controllata



Deposizione multipla



Start set: spazio tridimensionale, posizioni ed orientamenti casuali



ANALISI DELLE SIMULAZIONI

La ***deposizione controllata*** porta a risultati dove non emerge una marcata differenziazione attivando i diversi comportamenti di Flocking: gli esiti sono tendenzialmente omogenei e le quantità paragonabili.

Settando invece gli agenti con una ***capacità multipla*** di deposizione si riscontra la variazione in funzione dei parametri endogeni del sistema. I risultati (come ci si aspettava) risultano comparabili a quelli rilevati nelle esplorazioni bidimensionali presentando però, un numero molto più elevato di elementi depositati in un minor tempo di simulazione(2000 it. vs. 3000 it.).

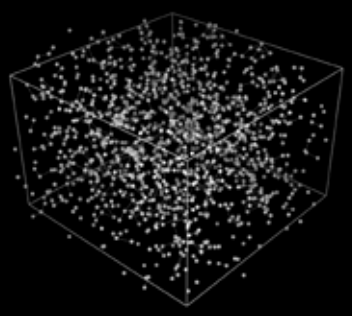
Concludendo, la deposizione risulta compatta e riconoscibile in un accumulo locale nel momento in cui i comportamenti di flocking vengono attivati, ovvero quando il ***segnale*** risulta più *denso e stabilizzato.*

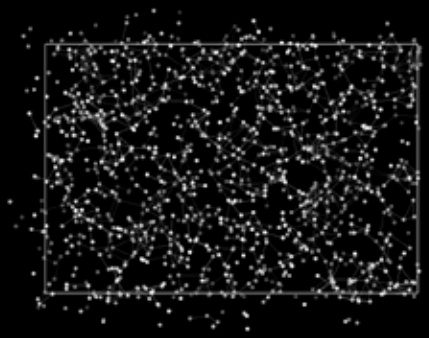
Nonostante questo iniziale riconoscimento di ordine (locale) il sistema non porta all'emergenza di un stabilizzazione globale. Nel complesso è difficile descrivere il risultato e determinare un percorso privilegiato di flusso degli agents e/o un accumulo coerente di elementi.

Questi risultano iperconnessi nelle loro organizzazioni (locali) ma non esiste una topologia globale.

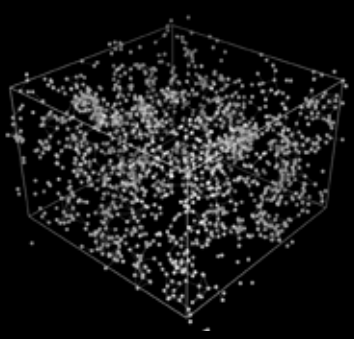
DEPOSIZIONE CONTROLLATA

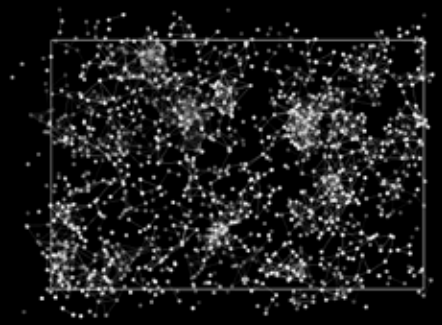
TEST | 01: *No flocking behaviours*



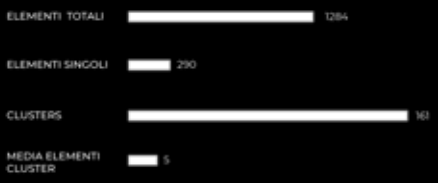


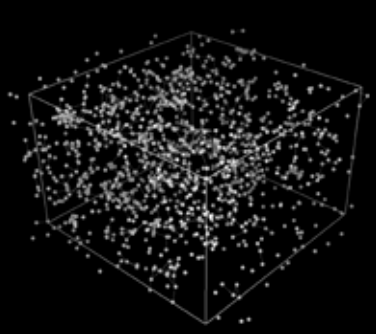
TEST | 02: *Emitters flocking behaviours*

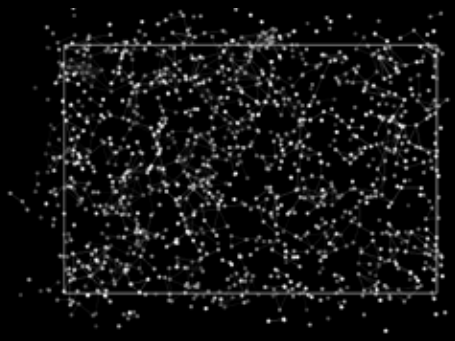




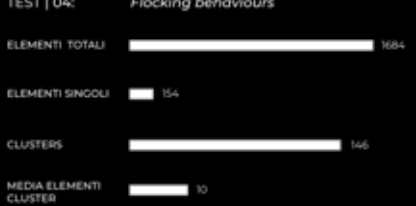
TEST | 03: *Builders flocking behaviours*

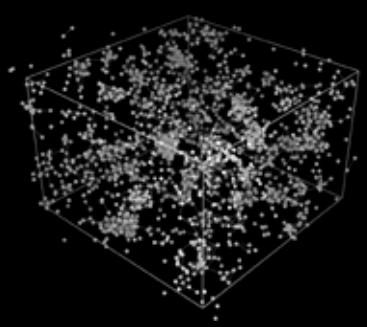


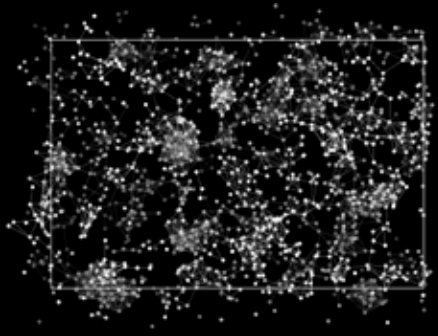




TEST | 04: *Flocking behaviours*







DEPOSIZIONE MULTIPLA

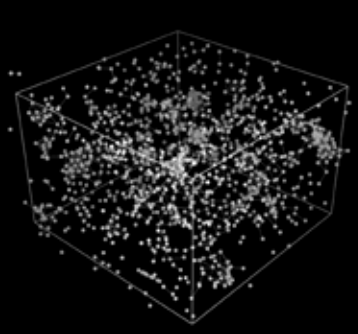
TEST | 05: *No Flocking behaviours*

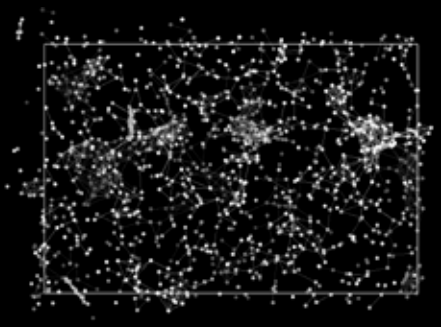
ELEMENTI TOTALI 1296

ELEMENTI SINGOLI 246

CLUSTERS 155

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 6





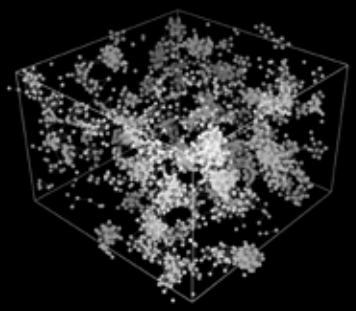
TEST | 06: *Emitters Flocking behaviours*

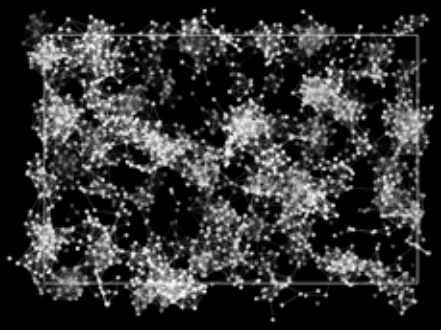
ELEMENTI TOTALI 2359

ELEMENTI SINGOLI 101

CLUSTERS 73

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 30





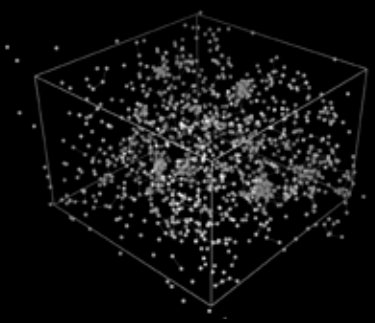
TEST | 07: *Builders Flocking behaviours*

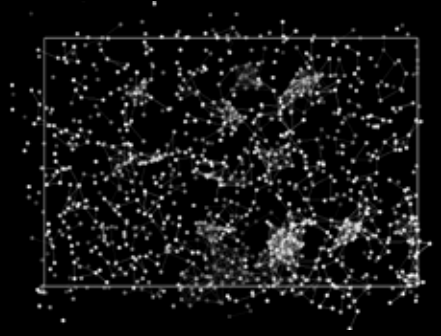
ELEMENTI TOTALI 1161

ELEMENTI SINGOLI 281

CLUSTERS 151

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 5





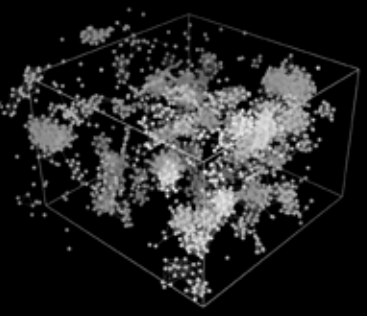
TEST | 08: *Flocking behaviours*

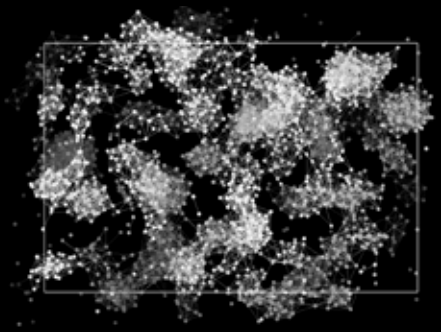
ELEMENTI TOTALI 2444

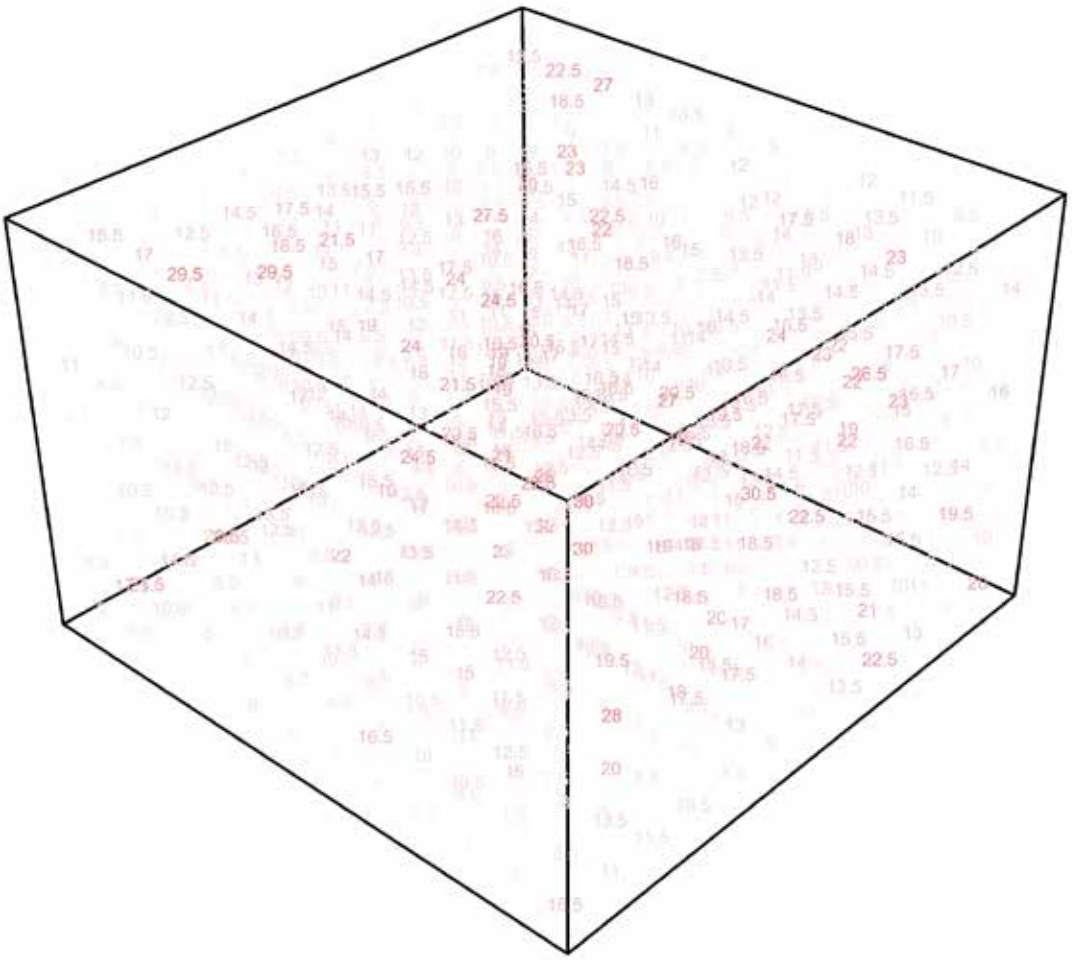
ELEMENTI SINGOLI 119

CLUSTERS 52

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 44







2.1 | DESIGN PROCESS

AMBIENTE - INFORMAZIONE

L'ambiente di simulazione del sistema è stato in un primo momento considerato solo attraverso una definizione geometrica in cui poteva avvenire il movimento e la deposizione. Questo sarebbe rimasto quindi semplice volume di *navigazione*.

La forma più efficiente di comunicazione e ricerca del segnale avviene però in un ambiente in cui l'informazione è diffusa in tutto lo spazio e non esclusivamente puntuale ed istantanea. L'emergenza di sistema complessi avviene attraverso una modifica distribuita e costante dei segnali che alterano l'ambiente.

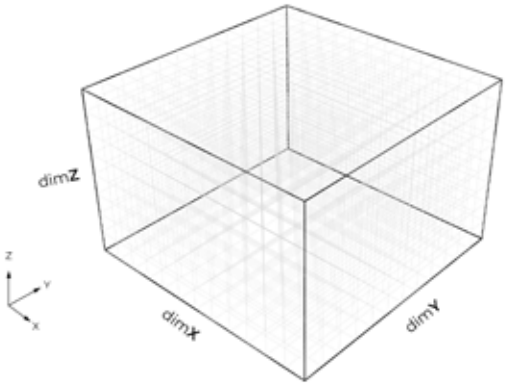
VOXELS

Lo spazio computazionalmente continuo ed infinito non è definibile, per questo è stato discretizzato in ***celle cubiche*** o voxel, di lato ***R*** che ne individua la risoluzione digitale.

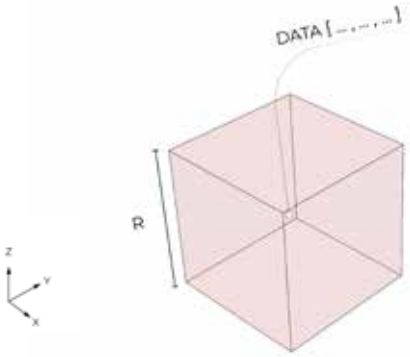
Queste celle non sono entità fisicamente definita da un volume digitale. Risulta infatti computazionalmente più efficiente creare una ***matrice tridimensionale***, in linguaggio di programmazione un *"Array[, ,]"* che possa contenere qualsiasi tipologia di dato (numeri interi, a virgola mobile, punti o vettori) dalla quale andare recuperare l'elemento locale necessario.
Definita la risoluzione digitale dell'ambiente R sarà quindi possibile determinare il numero esatto di celle nelle tre direzioni cartesiane:

nX = dimX / R;
nY = dimY / R;
nZ = dimZ / R;

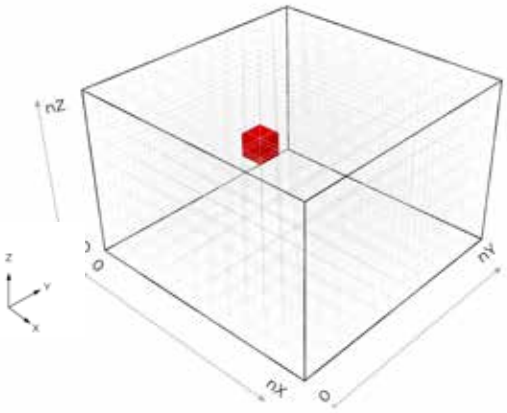
Il criterio di rappresentazione e gestione dei dati prende ispirazione dalla tecnica di ***Data Binning*** [9] usata in statistica e tradotta nelle simulazioni tridimensionali di sistemi complessi come ***Spatial Binning***.



Ambiente discretizzato con una griglia tridimensionale



voxel di datastorage



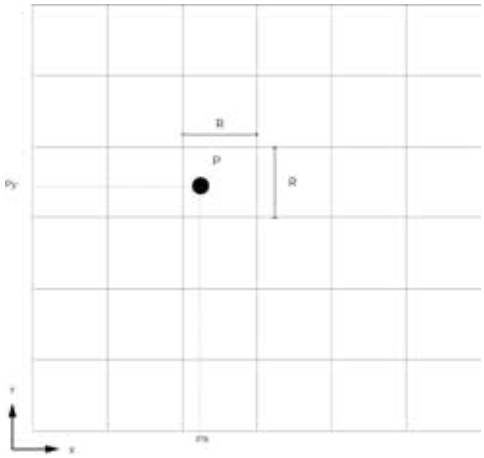
Suddivisione dello spazio con n.voxel per dimensione

FIELDS

La matrice tridimensionale viene denominata ***"Field"*** o "Campo" di memorizzazione dati spaziali avente dimensioni nX, nY, nZ.

Field = [nX,nY,nZ].

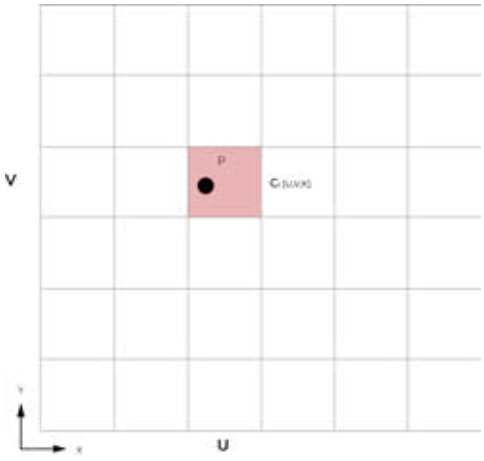
La tecnica di ***DataBinning*** prevede appunto la riduzione di un intervallo di valori ad un singolo valore che rappresenti quell'intervallo detto *"BIN"*, nel nostro caso la cella del Field.
Si può definire un'entità di indagine ***P*** come un punto identificato tramite le sue coordinate Px,Py,Pz nello spazio tridimensionale.
P, potrà determinare il valore del Field nella cella C_i in funzione della sua posizione.
La divisione delle coordinate per la risoluzione R dell'ambiente ci fornirà gli indici necessari per la ricerca matriciale.



Sezione XY [Z] - Coordinate P

$$U = Px / R;$$
$$V = Py / R;$$
$$K = Pz / R;$$

Trovati gli indici allora sarà possibile estrapolare il dato generico D_i contenuto nella cella C_i.

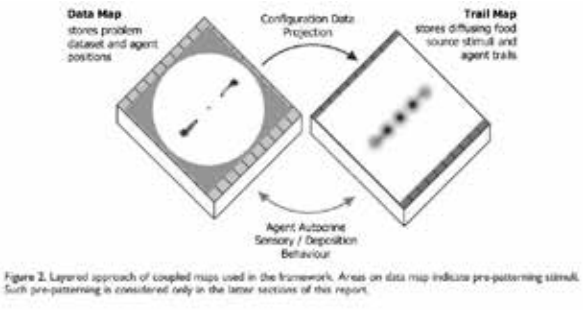


Sezione XY [Z]- Coordinate cella Ci [u,v,k]

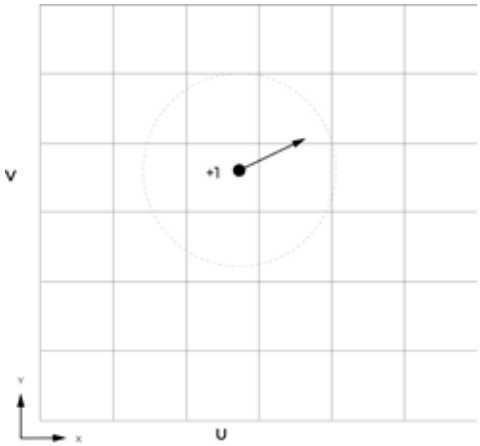
$$D_i = \text{Field}[U,V,K].$$

DISTRIBUZIONE DEL SEGNALE

Jeff Jones (2010) un modello locale di lettura e modifica dello spazio di alcune particelle per simulare e studiare la morfogenesi dei pattern generati nella crescita delle muffe melmose come le Physarum polycephalum. Questa famiglia di protisti è capace di ricercare in maniera efficiente le fonti di cibo con un'apparente intelligenza distribuita.
Il sistema elaborato da Jones si basa fondamentalmente su un sistema di agenti capaci di ricercare di segnali chemioattrattori rilasciati nell'ambiente dai propri simili durante il movimento nelle celle locali dello spazio.



Ambiente definito con mappe di storage dei dati, J.Jones, 2010



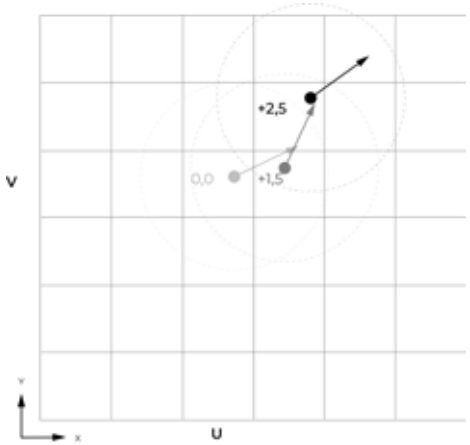
Sezione XY - individuazione cella del Field ed emissione del segnale

EMISSIONE

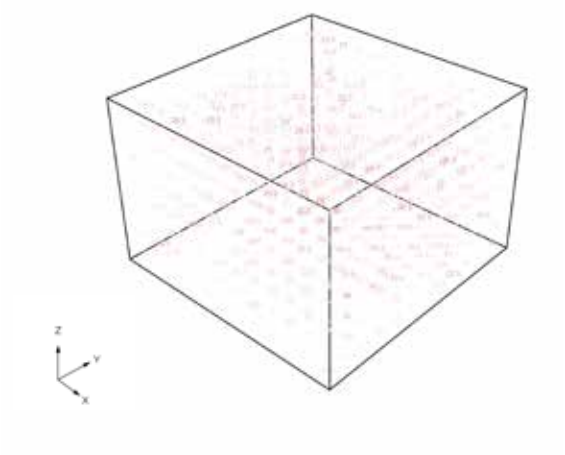
Nel momento in cui l'*Agente* si muove, individua istantaneamente gli indici dei Fields inizializzati in quello scenario.
Ogni *Agente* possiede un Field di ***scrittura dei dati*** che corrisponde al contenitore del proprio ***segnale***. Questo viene definito con un numero a virgola mobile, ***double***, in C#.

AgentField = Double[nX,nY,nZ]

La cella del Field contiene quindi un valore che viene aumentato di ***1 unità*** ogni ***X iterazioni*** che vengono definite *frequenza di aggiornamento* F_U. Il segnale ovviamente non può solamente crescere, questo "***evapora***" nel tempo calando di ***0,5 unità*** con una sua frequenza f_u.



Sezione XY - Evaporazione del segnale .



Distribuzione del segnale degli Emitters

AgentSignal = AgentField[u,v,k].

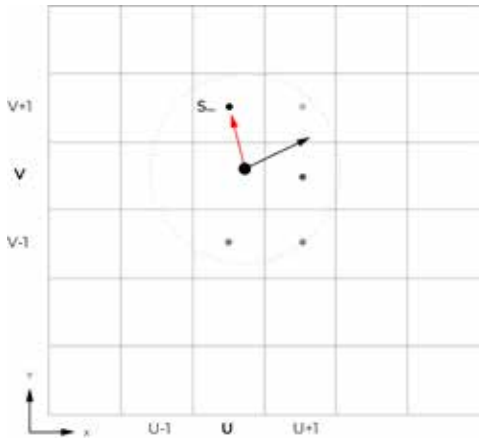
- ***Δt = Fu*** AgentSignal **+1**
- ***Δt = fu*** AgentSignal **-0.5**

LETTURA

La lettura del segnale è in un primo momento affidata alla ricerca effettiva della cella.

L'agente, computando la posizione locale può determinare la *posizione delle celle vicine che rientrano nel raggio di ricerca* e quindi i segnali ivi contenuti. Una volta letti i segnali si muoverà verso la cella con il segnale desiderato S_{des}.

I Builders, cercano il segnale a densità maggiore diffuso nello spazio dagli Emitters (S_E), mentre questi ultimi cercano di evitare il percorso stabilizzato dai Builders(S_B), quindi quelle parti dello spazio con densità minore.

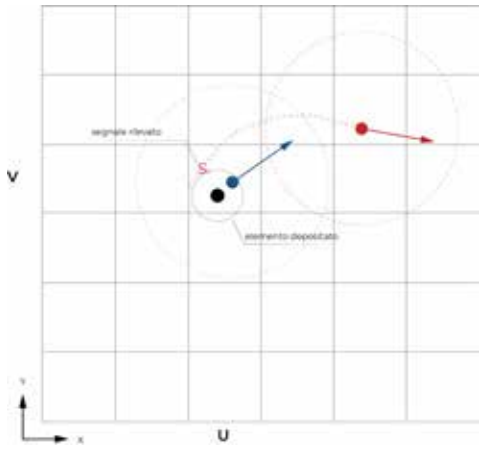


Agents - Metodologia di ricerca del segnale

- Builders → $S_{E,MAX}$
- Emitters → $S_{B,min}$

DEPOSIZIONE: MODALITÀ

Con l'introduzione dei field e del segnale distribuito, bisogna introdurre una soglia o valore di innesco del processo di deposizione. I Builders depositeranno quando il segnale rilevato supera un certo valore N, definito come ***Valore Limite di Deposizione (VLD)***.



Deposizione elementi se il segnale supera il valore di soglia VLD.

ANALISI SIMULAZIONI

Lo spazio considerando è ridimensionato in considerazione della presenza di una capacità di ricerca dimensionalmente più limitata degli agents.

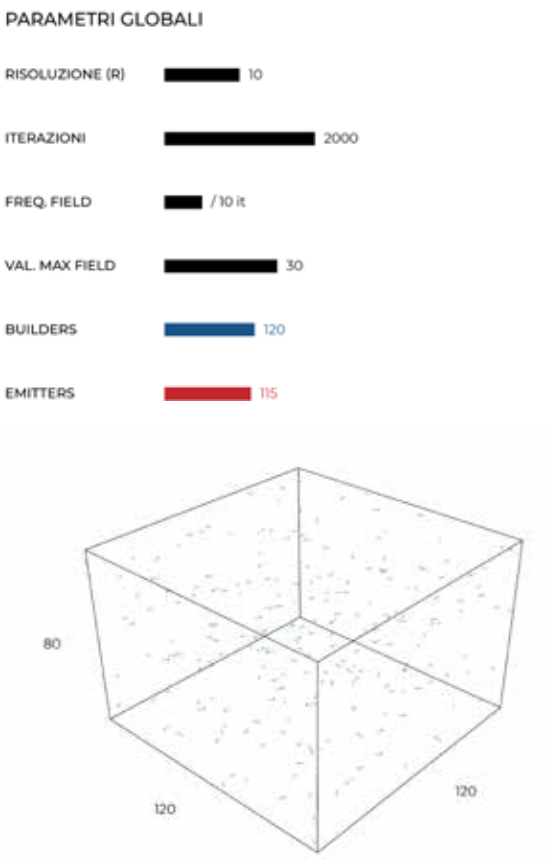
Il sistema é testato con le due modalità di deposizione ma considerando solo le combinazioni i Flocking Behaviours disattivati (1.1 / 1.5) o attivi (1.4 / 1.8).

Viene riscontrata una tendenza a formare degli *accumuli quasi sempre connessi* fra loro (pochi cluster separati) sebbene risulti evidente la presenza di parti fortemente più dense di altre.

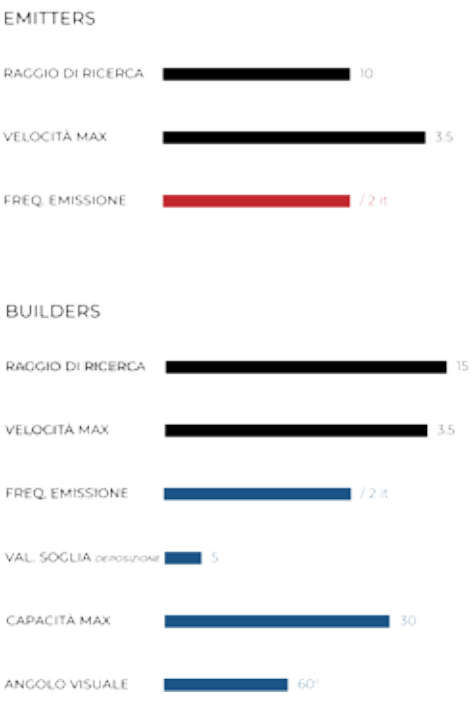
Il processo di deposizione arriva in tutti e due gli scenari a ***saturazione della sua massima capacità***, ma con due tempistiche differenti: la ***deposizione controllata*** porta ad una disposizione più omogenea e "rarefatta" nel tempo settato inizialmente (2000 it) mentre l'altra modalità impiega 1/4 del tempo.

Nonostante le modifiche implementate, i risultati analizzati non portano all'emergenza di un ordine riconoscibile ed anche oggettivamente quantificabile.

Si constata che l'utilizzo dei Flocking behaviours sia un parametro molto destabilizzante per il sistema, mentre un approccio puramente stigmergico risulterebbe più efficiente e controllabile per lo scopo desiderato.



Start set: spazio tridimensionale, posizioni ed orientamenti casuali



DEPOSIZIONE CONTROLLATA

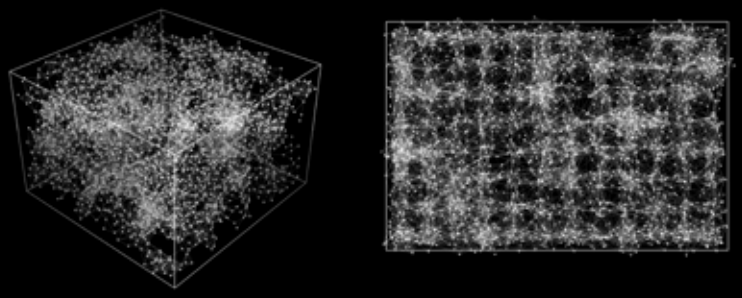
TEST | 1.1: *No flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 3578 / 3600

ELEMENTI SINGOLI 1

CLUSTERS 1

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 3578



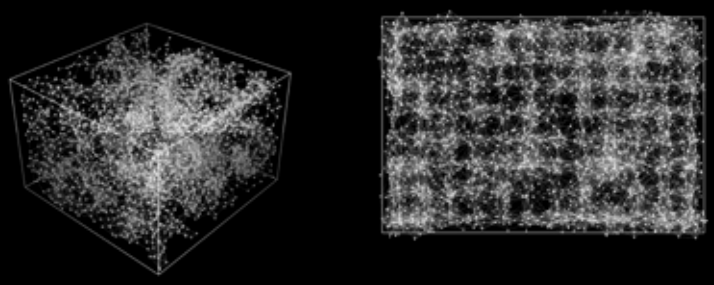
TEST | 1.4: *Flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 3571 / 3600

ELEMENTI SINGOLI 3

CLUSTERS 1

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 3568



DEPOSIZIONE MULTIPLA

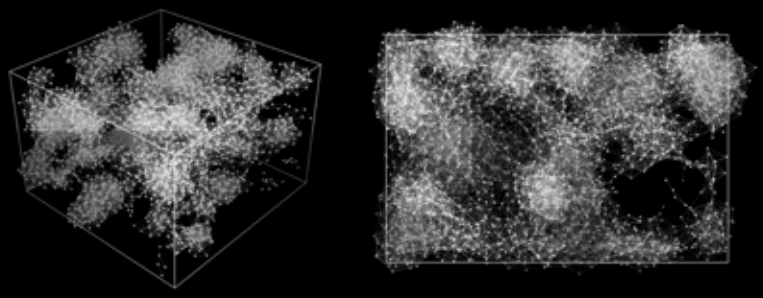
TEST | 1.5: *No Flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 3600 / 3600

ELEMENTI SINGOLI

CLUSTERS 6

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 600



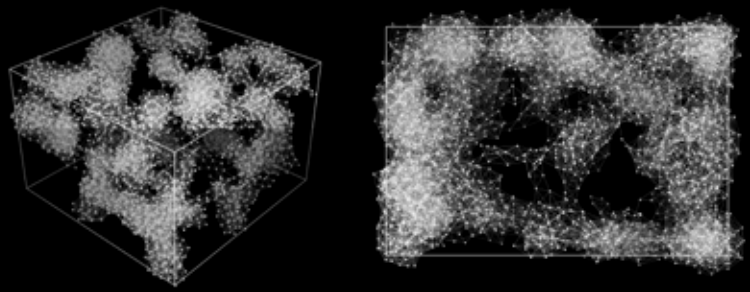
TEST | 1.8: *Flocking behaviours*

ELEMENTI TOTALI 3600 / 3600

ELEMENTI SINGOLI

CLUSTERS 4

MEDIA ELEMENTI CLUSTER 905



2.2 | DESIGN PROCESS
COSTRUZIONE STIGMERGICA

Le esplorazioni dei capitoli precedenti richiedono un cambio dei parametri endogeni del sistema ed una semplificazione delle regole presenti: i comportamenti di sciame degli agenti vengono eliminati per lasciare spazio alle potenzialità della comunicazione stigmergica.

In questo momento del percorso di ricerca, il processo di costruzione è libero in tutto il volume di navigazione, non esistono costrizioni ambientali iniziali. Questo aspetto rende l'analisi del risultato molto complicata in quanto si formano percorsi critici di accumulo molto intricati e sparsi che non permettono la comprensione dei movimenti degli agenti principali né del meccanismo di crescita.

COSTRUZIONE PER PIANI

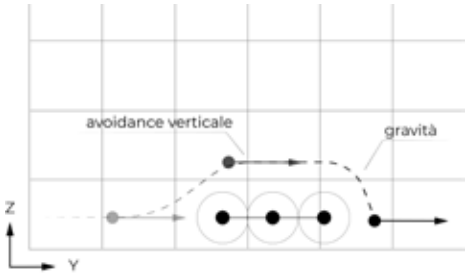
I processi costruttivi si basano necessariamente sulla ricerca di un punto di appoggio e origine per poi procedere per livelli successivi. L'assemblaggio degli elementi o dei materiali diventa così un processo additivo che non può avvenire nel vuoto se non per gli sbalzi ammissibili dal sistema costruttivo utilizzato.
Questo avviene nelle costruzioni civili umane, nelle formazioni dei nidi delle vespe e nelle tecniche di stampa 3d.

Flight Assembled Architecture by Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea in collaboration with ETH Zürich. Copyright: François Lauginie

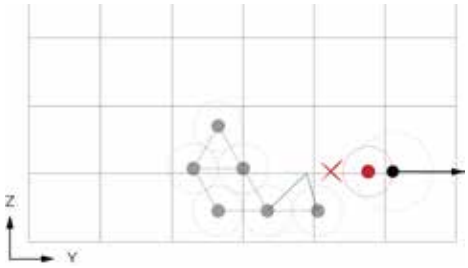
LAYERS

Le popolazioni di agenti vengono costrette ad interagire al ***Layer 0***, ovvero il primo ***piano di navigazione*** dello scenario di test.
Questo corrisponderà necessariamente al primo strato o layer di deposizione del sistema:
L'interazione degli agents porterà alla deposizione e accumulo con risultati simili alle prime esplorazioni bidimensionali (pag.16-17).
Ora viene aggiunta la possibilità di superare gli ostacoli (accumuli di elementi) compiendo uno ***spostamento verticale*** per passare al ***layer superiore***.

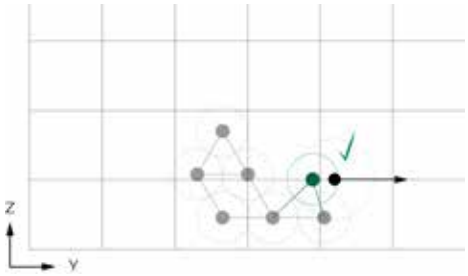
Layer 0 con popolazioni distribuite in posizioni casuali



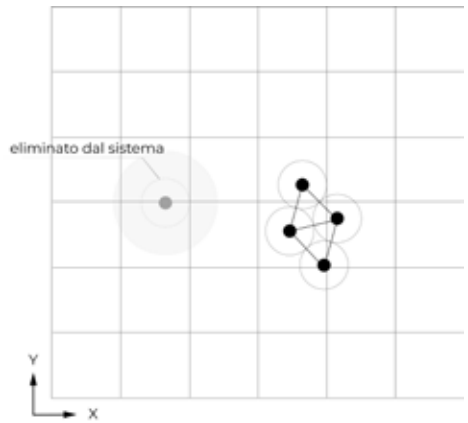
Transizione al layer superiore per superare l'ostacolo



Deposizione errata: distanza troppo grande dal csotruito



Deposizione sul costruito



Erosione singolarità dopo Δt

GRAVITÀ

Gli agenti non possono più navigare nel vuoto ma esclusivamente su piani di appoggio:

- Layer0 o Layers già costruiti.

Se questa condizione non è rilevata, ci si ritrova in una condizione di navigazione nel vuoto e quindi gli agenti scenderanno di quota fino al piano di appoggio più vicino dove riprendere la navigazione, simulando così il rispetto della gravità.

DEPOSIZIONE

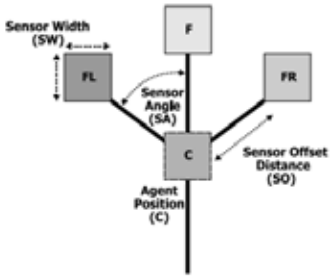
La deposizione degli elementi può avvenire quindi al Layer0 rispettando le condizioni di quantità di segnale rilevato.
Nei layer superiori invece, il processo viene innescato se l'agente rileva un aggregato vicino già costruito così da evitare il rilascio di elementi nel vuoto senza una connessione vicina. Prende così forma la *costruzione per layers.*

EROSIONE

Quando gli elementi vengono rilasciati nell'ambiente cercano i propri vicini per poter completare la connessione. Se la ricerca non ha successo entro un certo intervallo di tempo ***Δt*** l'elemento in questione sarà ***eliminato dal sistema,*** avverrà quindi un'erosione delle singolarità prodotte. Ci si aspetta quindi di ottenere dalla lettura finale dei risultati solo degli accumuli clusterizzati, connessi.

SCANSIONE AMBIENTE

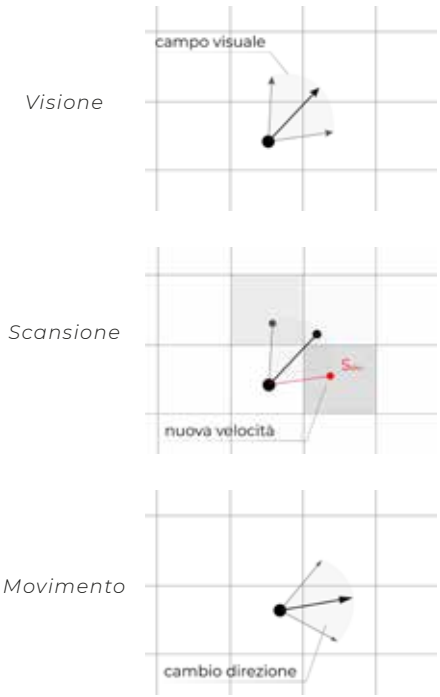
Jeff Jones, nella simulazione del sistema stigmergico del Physarum polycephalum (vedi pag.26) definisce una particella con una posizione (C) ed un sensore frontale (F) che viene ruotato in senso orario ed antiorario di un angolo (SA) desiderato compreso tra i 22,5° E 45°. Viene così definito un ***gruppo di sensori*** capaci di leggere i segnali chimici depositati dai propri simili nell'ambiente e utile quindi per poter modificare l'orientamento verso la concentrazione di segnale maggiore.
Nello stesso momento, queste particelle depositano un valore costante di segnale chemioattrattore che andrà ad aumentare la concentrazione locale.



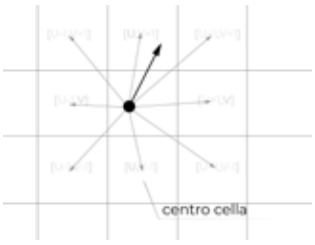
Physarum particle definition - Jeff Jones, 2010

STELLA DI VETTORI (ANGOLO FISSO)

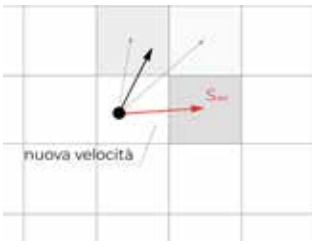
Il sistema deve essere riconfigurato con un processo puramente stigmergico ed il processo di Jones risulta essere adattabile allo scenario progettato.
L'agente viene dotato quindi di una ***stella di vettori*** che fungono da ***recettori di segnale***. Questi indagano le celle vicine, estraendo i dati relativi a segnale ed elementi fornendo quindi le informazioni necessarie al cambio di movimento dell'agente.
L'***angolo*** calcolato fra il vettore velocità ed i vettori ricezione è abbastanza limitato, preferibilmente ***30°,*** così da *evitare possibili movimenti circolari o inversioni improvvise degli agenti.*



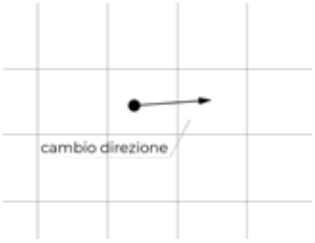
Visione



Scansione



Movimento



STELLA DI VETTORI (CENTRI CELLE)

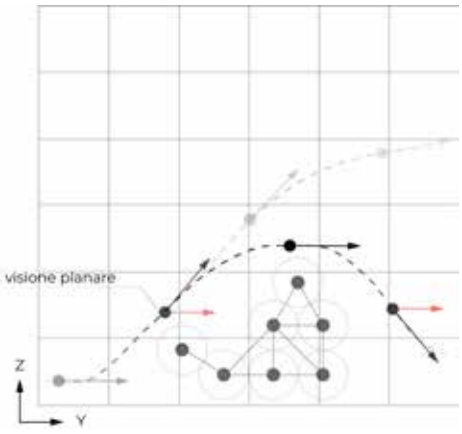
Si introduce poi, sul modello utilizzato nel sistema precedente, una ***possibile variazione del sistema*** di ricerca del segnale. Ad ogni iterazione l'agente trova le celle vicine e computa una stella di vettori direzione tra la sua posizione ed il centro delle celle dell'intorno.
Limitato il campo di vettori in base ad un angolo massimo fra questi ed il vettore direzione allora si sceglierà quello che punta verso la cella con il segnale desiderato ed avviene così il movimento.

LETTURA SEGNALE

Per stabilizzare il sistema, gli agenti dovranno seguire la densità maggiore di segnale:

- Builders → $\mathbf{S_{E,MAX}}$
- Emitters → $\mathbf{S_{E,MAX}}$

VISIONE PLANARE



Per rendere coerente il movimento degli agenti con l'obiettivo di costruzione progressiva per livelli, è necessario limitare il campo di visione degli agenti.
Questi non avranno più la possibilità di scansionare l'ambiente in tutte le direzioni ma i loro campo d'indagine sarà limitato ad una proiezione costante sul piano orizzontale parallelo al Layer0.
Questo porterà l'agente ad evitare il più possibile traiettorie paraboliche che lo possano allontanare dai piani di navigazione.

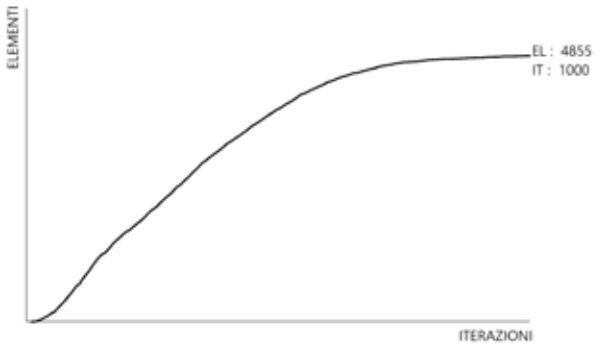
ESPLORAZIONE

La simulazione di test viene effettuata in un ambiente leggermente più grande del precedente (***200x200x120***) con un risoluzione minore (***5***) ed un maggior numero di agenti (***200 Builders e 195 emitters).*** Si ritiene più opportuno mantenere la ***modalità di deposizione multipla*** per testare al meglio le potenzialità del sistema.

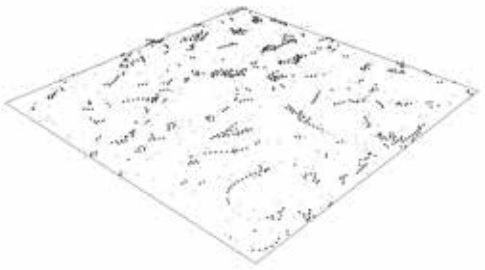
Dopo 1000 iterazioni si raggiunge quasi la capacità massima di costruzione e si può apprezzare dal grafico in basso[1] l'andamento asintotico del processo visto che ad un certo punto molti Builders arrivano alla capacità massima di deposizione.

Emergono ***pattern ordinati e riconoscibili*** coerenti tra gli accumuli di elementi e la distribuzione del segnale nell'ambiente, le cui tracce risultano quasi sovrapponibili.

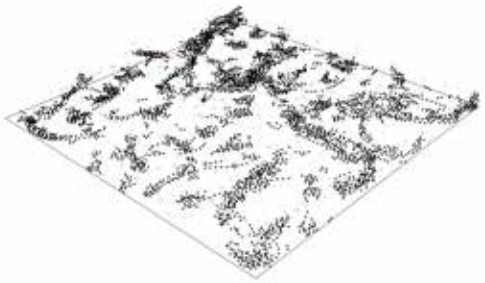
I limiti del sistema risultano essere la scarsa capacità di crescere in verticale ed una ancora presente randomicità e disordine degli assemblaggi la cui definizione a punti e linee necessita ora di evolvere con una volumetria definita.



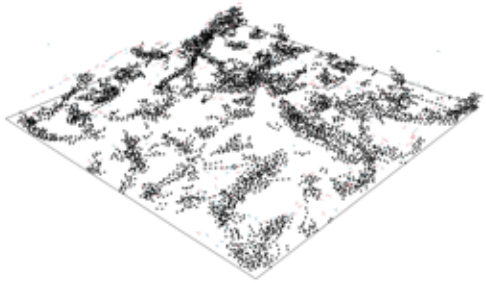
1. Processo di deposizione



100 iterazioni



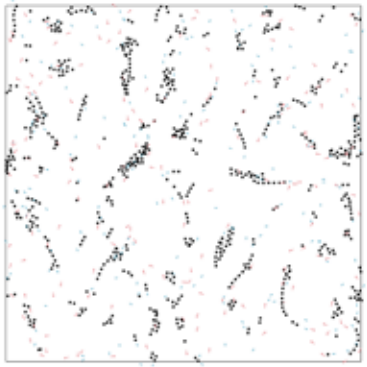
500 iterazioni



1000 iterazioni

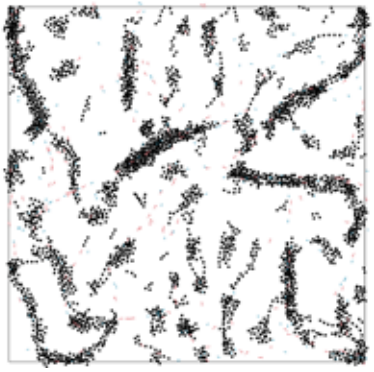
VISTE SUPERIORI

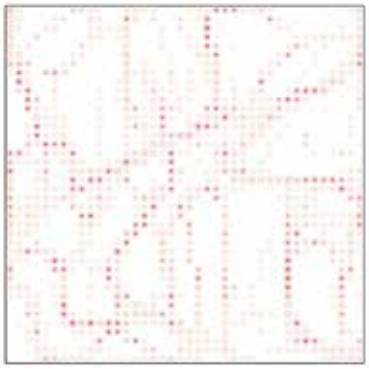
Elementi depositati

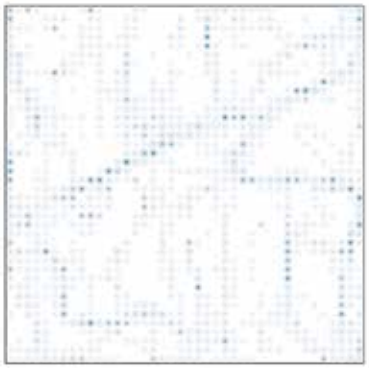


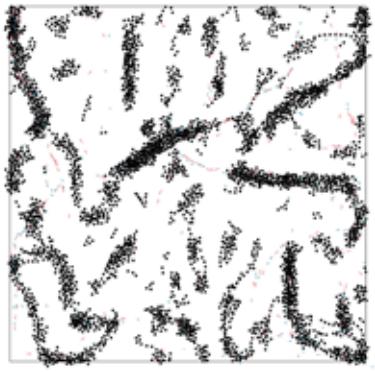
Emitters field

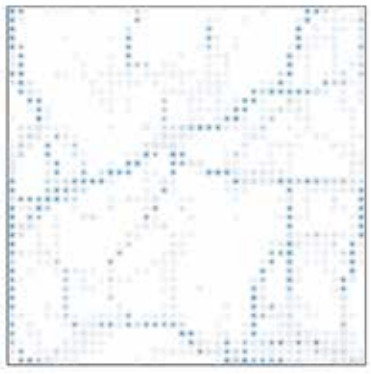
Builders field











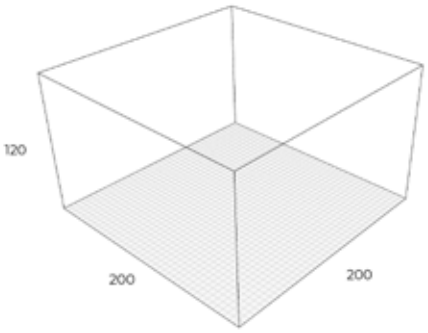
2.3 | DESIGN PROCESS
VOLUMETRIA

La costruzione stigmergica per livelli mostra una stabilità maggiore del processo di deposizione permettendo il riconoscimento evolutivo di questo.
Nonostante ciò però è difficile trovare con questo sistema una strada futura di sviluppo senza donare volume agli elementi. Questi sono elementi puntuali iperconnessi che mostrano esclusivamente una ***configurazione topologica***, una capacità connettiva ma non delle entità architettonicamente riconoscibili.

In questo capitolo viene studiata la potenzialità del sistema implementando il processo di deposizione con elementi dal volume definito, di varie forme e dotati di cognizione topologica.

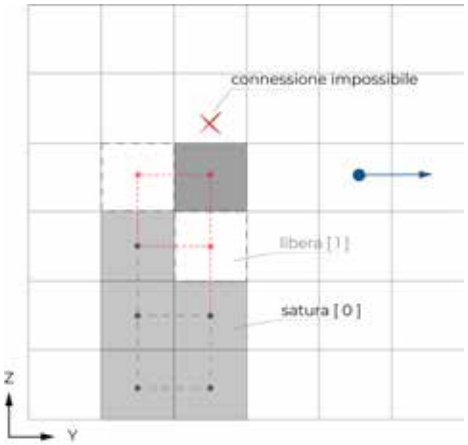
ELEMENTI CELLULARI

Il primo approccio alla resa volumetrica dell'elemento costruttivo è molto semplice: gli elementi depositati assumeranno le dimensioni e la collocazione dei voxel che vengono usati per definire l'ambiente.

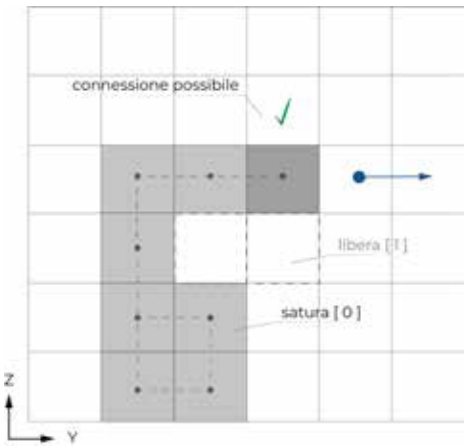


DEPOSIZIONE - SATURAZIONE

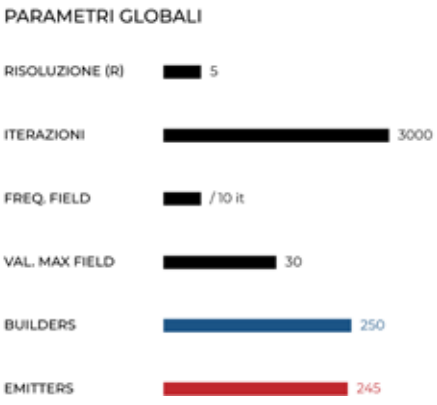
Gli agenti scansionano l'habitat di navigazione rilevando l'occupazione dei voxel vicini per poter innescare i comportamenti di avoidance ed il processo di deposizione. Questo è ora definibile come processo saturazione di una frazione dello spazio costruibile dal momento in cui l'elemento "depositato" assume le dimensioni unitarie dell'ambiente.
Non avviene in questo caso la differenziazione fra *deposizione multipla o controllata* in quanto il processo è ***binario:*** la cella può essere ***satura (0)*** o ***libera (1)***.



Il sistema viene testato modificando la ***soglia minima*** di segnale rilevato affinché al costruzione possa avere luogo. Vengono quindi effettuate due prove con valori ***1/6*** ed ***1/3*** del valore massimo di segnale contenuto nei fields.
I test vengono effettuatati quindi considerando:



- V_{Max} ***Field*** = *30*
- VLD_1 = *5*
- VLD_2 = *10*



Vista prospettica risultato prima simulazione (VLD = 5)

ANALISI SIMULAZIONI

Lo sviluppo costruttivo subisce un rallentamento come ci si aspettava. Viene analizzato l'***andamento del processo(1)*** e la ***capacità costruttiva di ogni layer(2)***. Questa viene definita con un fattore chiamato ***Built Factor (BF)*** calcolando il rapporto tra area costruita e area disponibile ad ogni layer.

$$BF_{(Layer)} = Area\ costruita\ /\ area\ totale$$

Vengono costruiti quindi i 2 grafici:

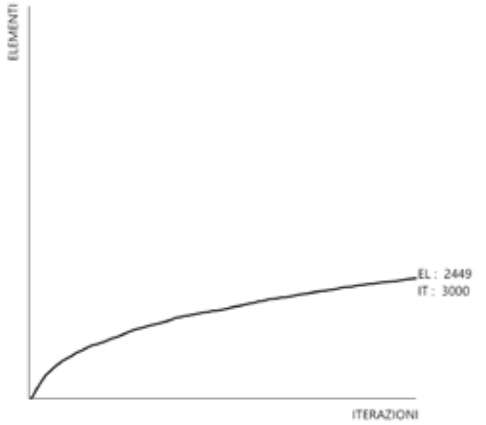
1. ITERAZIONI - N° ELEMENTI
2. LAYERS - BUILT FACTOR

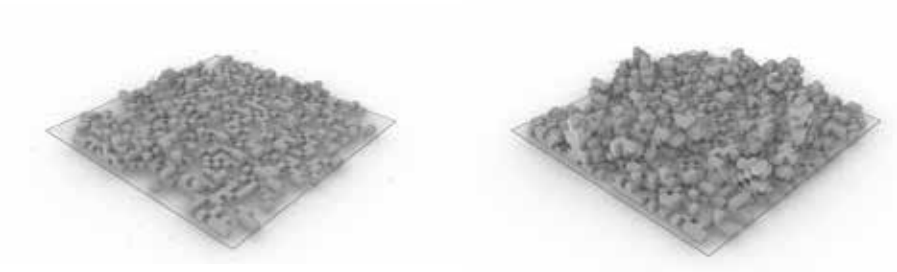
In tutti e due i test effettuati il processo costruttivo presenta una grande capacità (di deposizione) nelle prime fasi della simulazione per poi rallentare con andamento quasi costante fino alla fine.
La tendenza è crescente ma difficilmente si raggiungerà la capacità max di deposizione al netto degli elementi erosi nel tempo.
La variazione del valore di soglia ***VLD*** incide principalmente sul ***numero di elementi*** depositati e abbassa la pendenza della curva del grafico.

Il processo porta ad una distribuzione omogenea nei primi layers (data la posizione iniziale casuale e sparsa degli agent) ma nel momento in cui si ***stabilizzano i percorsi***, la costruzione risulta è definita in ***clusters concentrati***.
La deposizione non riesce ad essere portata oltre la metà dei livelli disponibili.

SIMULAZIONE 1 *VLD = 5*

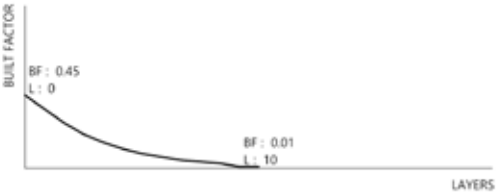
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

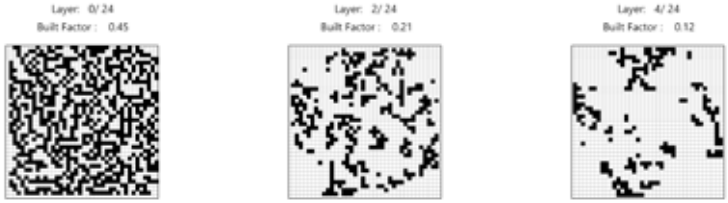




250 it *1000 it*

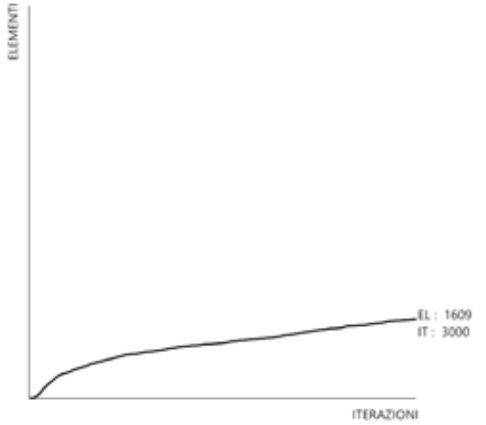
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

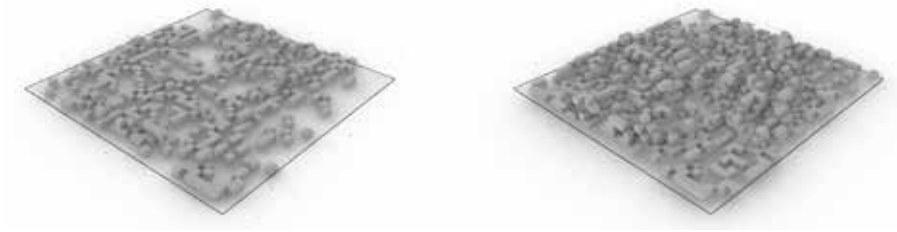




SIMULAZIONE 2 *VLD =10*

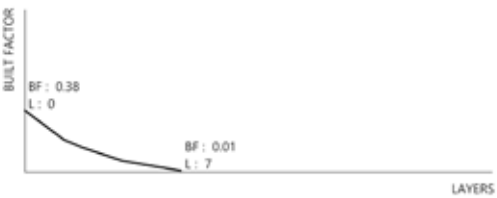
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

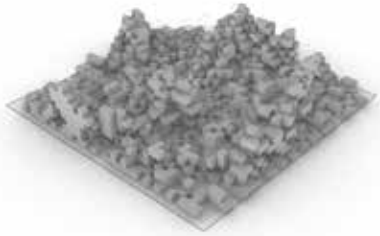




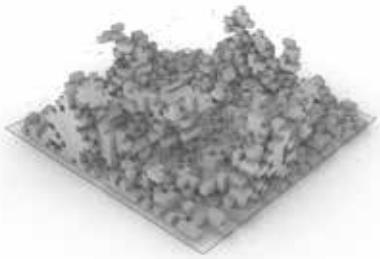
250 it *1000 it*

TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

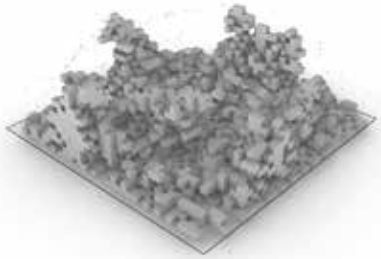




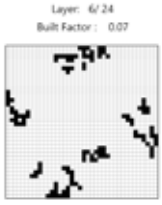
1750 it

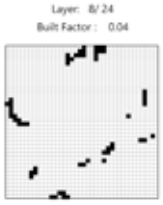


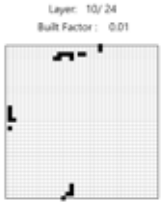
2500 it

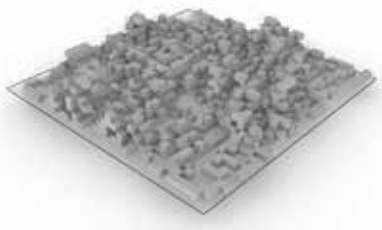


3000 it

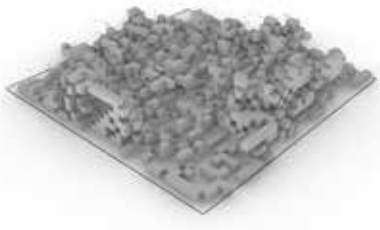




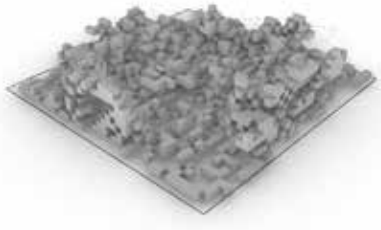




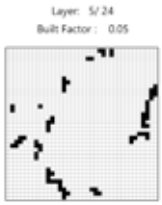
1750 it

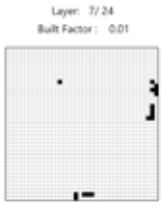


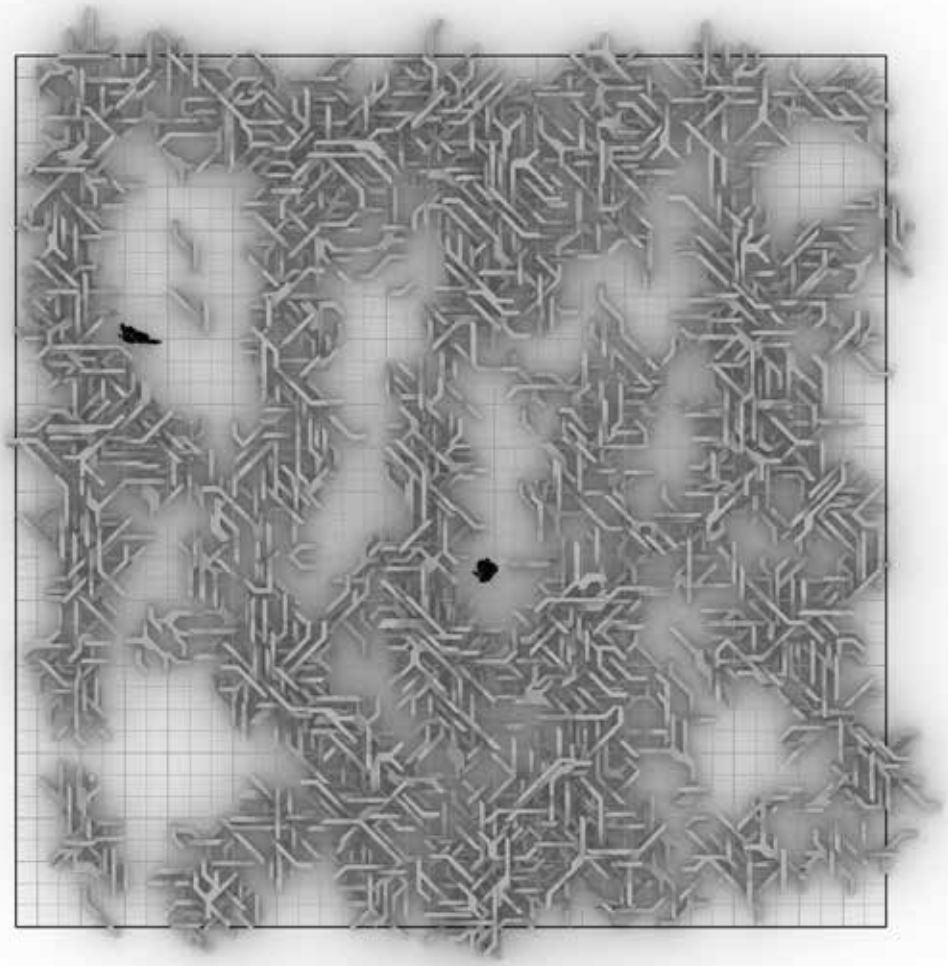
2500 it



3000 it







2.4 | DESIGN PROCESS
ASSEMBLAGGIO ATTIVO

Le precedenti esplorazioni volumetriche non riescono a soddisfare una ricerca di unitarietà dei cluster assemblati per riuscire a definire elementi costruttivi e/o spaziali di una possibile architettura.
Il sistema stabilizza i percorsi degli Agenti ma non si riscontra una corrispondenza simile nel processo costruttivo: i clusters formati presentano ancora una distribuzione caotica ed è difficile prevedere dei pattern di sviluppo della costruzione.

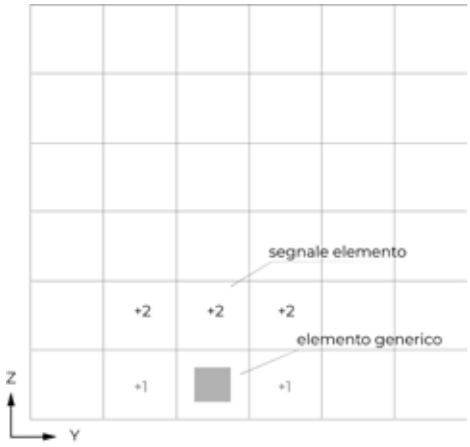
In questo capitolo viene data agli elementi la possibilità di interagire attivamente con l'ambiente e con gli agenti principali.
Si studia poi un'altra possibile forma alla scala dell'elemento costruttivo.

ELEMENTI EMISSIVI

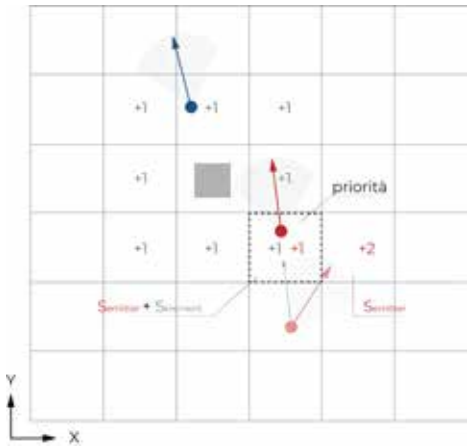
Per cercare di donare un'intelligenza autonoma alla costruzione viene data ad essa, quindi agli elementi che la compongono, la facoltà di ***emettere segnale.*** Questo assume valore maggiore nell'intorno superiore locale per facilitare lo sviluppo verticale.
Rispetta le stesse regole di evaporazione del sistema ambientale già definito e può essere letto dagli agenti emettitori (***Emitters***) in modo tale da condizionare poi in maniera indiretta il processo di deposizione.
In questo momento quindi gli Emitters possono rilevare due tipologie di segnale nell'ambiente e questi concorreranno nella scelta di movimento: individuate le possibili posizioni nello spazio, l'agente selezionerà quella con la ***concentrazione combinata*** di segnale maggiore.

$$S_{des} = S_{Emitter,\,MAX} + S_{Element,MAX}$$

Questo risulta essere un tentativo di guidare il processo attraverso il suo prodotto.
Gli elementi attraggano gli Emitters ed indirettamente anche i Builders, instaurando con essi una sorta di ***Mutualismo indiretto.***



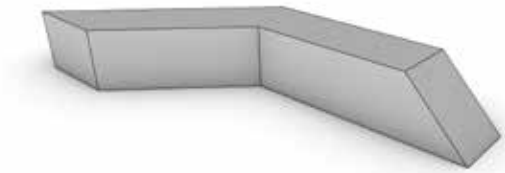
Emissione segnale con preferenza verticale

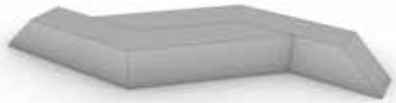


Emitter sceglie la cella con concentrazione combinata maggiore

VARIAZIONE:
FORMA - ORIENTAMENTO

L'elemento cellulare permette una connessione semplice ma i risultati ottenuti non soddisfano inizialmente l'ottenimento di un assemblaggio alla s***cala dell'elemento costruttivo.*** Si cerca quindi un elemento di dimensioni minori la cui forma possa proporre un assemblaggio complesso capace di ***variare nel piano e fuori dal piano.***





Composizione planare

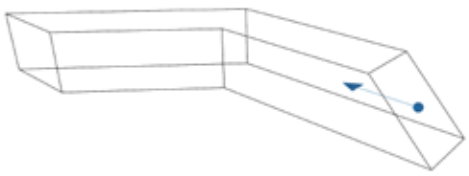
Composizione Non - planare

ORIENTAMENTO SPAZIALE

La deposizione dell'elemento deve ora prevedere una corrispondenza più forte con l'agente costruttore (***Builder***) in quanto l'elemento deve essere *orientato nello spazio e secondo un piano*: di navigazione o perpendicolare ad esso.

Viene individuato in maniera arbitraria un ***piano principale posizione*** ed un vettore ad esso associato parallelo ad uno dei due lati che corrisponde al ***vettore orientamento***.

Al momento della deposizione la relazione con il costruttore sarà la seguente:



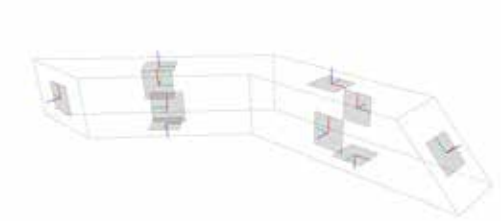
Vettore orientamento corrispondente alla velocità del Builder al momento della deposizione

Orientamento = Velocità Builder

Posizione = Posizione Builder

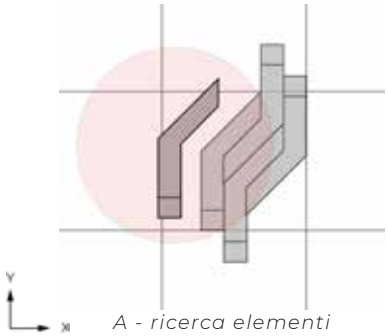
MODALITÀ DI ASSEMBLAGGIO

Gli elementi definiti necessitano di regole precise di assemblaggio al momento della deposizione.
Si individuano sulle facce del pezzo scelto dei piani posizionati nel centro di queste che serviranno come riferimento di aggancio per l'assemblaggio.
Vengono così definite le ***Handles***[1]***.***



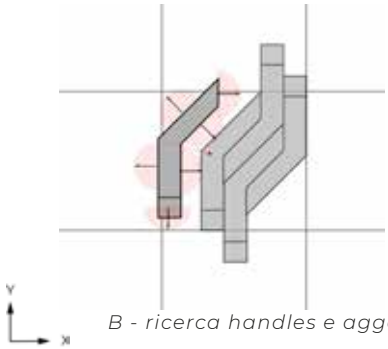
HANDLES

Queste entità di collegamento possiedono un piano con Normale uscente rispetto alla faccia di appartenenza.
Gli assi locali X,Y (sulla superficie) diventano lo strumento digitale per computare l'***aggancio con gli elementi vicini***.



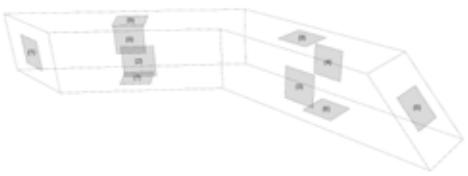
A - ricerca elementi

Al momento della deposizione l'elemento cerca possibili vicini nel suo raggio di visione(***A***). Se questa azione ha successo allora ogni Handle cercherà le Handles nel proprio intorno e l'accoppiamento avverrà fra quelle con la distanza minore (***B***).

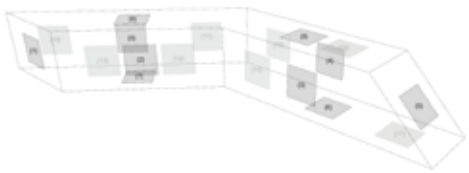


B - ricerca handles e aggancio

Le Handles possiedono un orientamento dettato dai ***piani di riferimento***.
Al fine di stabilire regole di accoppiamento e quindi *rotazione relativa per l'allineamento dei piani reciproci*, queste vengono indicizzate.
Si andrà quindi a stabilire un'***analisi combinatoria*** per le varie possibilità di aggancio fra un elemento e l'altro.



ANALISI COMBINATORIA



Euristica { **iS , iR , A°** }

Vengono aggiunti altri piani per facilitare le connessioni e le relative variazioni coerenti con la geometria.
Le scrittura della combinazione avviene con regole definite ***Euristiche***[1] che comprendono l'indice della Handle dell'elemento (Sender index - ***iS***) e quello della Handle del vicino ricevente (Receiver index - ***iR***) e l'angolo della rotazione relativa fra i piani di riferimento.

{ 2 , 4 , 0° }

{ 0 , 0 , 0° }

{ 11 , 12 , 0° }

{ 12 , 11 , 0° }

{ 1 , 11 , -180° }

{ 11 , 1 , -180° }

{ 10 , 1 , -180° }

{ 1 , 1 , 0° }

{ 1 , 5 , -180° }

{ 1 , 17 , -180° }

{ 1 , 16 , 0° }

{ 17 , 1 , -180° }

{ 5 , 1 , -180° }

{ 5 , 14 , -180° }

{ 12 , 16 , -180° }

{ 17 , 1 , 0° }

1. Alessio Erioli, Assembler, GH_Component

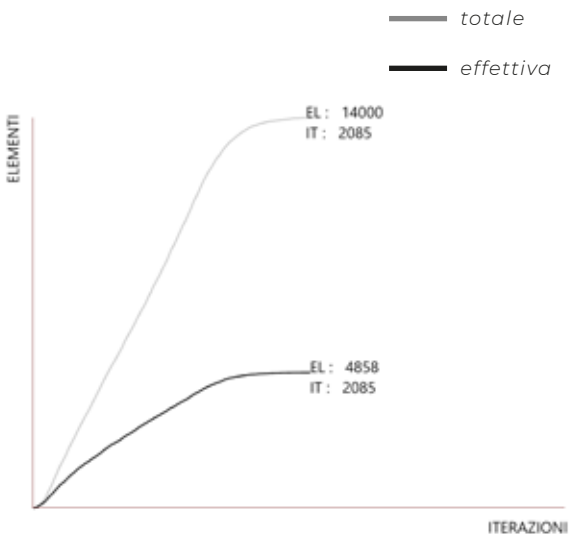
ANALISI SIMULAZIONE

Dato l'ingombro ridotto dell'elemento rispetto al voxel di suddivisione, è necessario avere un numero di *elementi molto più alto del solito*. Si aumenta quindi di 5 volte la capacità max del agente costruttore (30 --> 150).
Il sistema viene testato, come nel capitolo precedente, con 2 valori di soglia diversi (VLD[5] e VLD[10]).

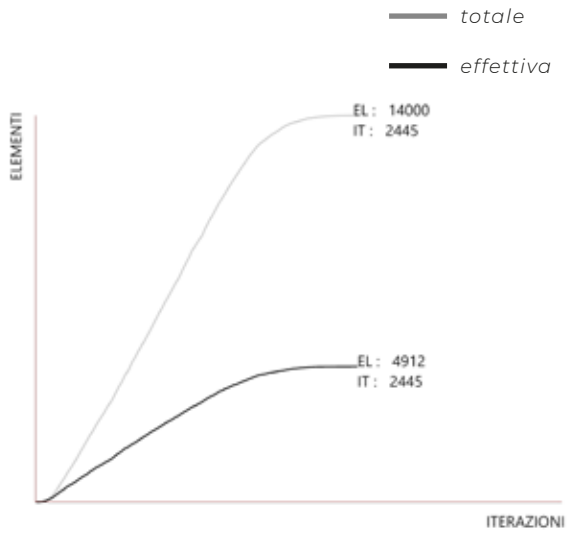
Nei due grafici di studio del ***processo costruttivo***, emerge come il sistema eroda la maggior parte degli elementi depositati, risultato di una ***grande difficoltà di assemblaggio*** con i vicini al momento della deposizione. Risulta quindi una curva di ***deposizione totale*** con *pendenza molto alta e costante* ed una di ***deposizione reale*** con *pendenza notevolmente minore*. Nel caso con VLD > 10 l'effetto migliora ma molto poco.

Sebbene siano riconoscibili i pattern di percorrenza degli agenti, rafforzati dal segnale emesso dagli elementi, il sistema produce ancora una volta un risultato molto caotico.
Le logiche di assemblaggio locale non evolvono in un assemblaggio globale.
I percorsi lasciati liberi non risultano percorribili in quanto troppo stretti e non collegabili.

L'elemento selezionato è evidentemente inadatto a logiche di assemblaggio determinate dal mio sistema di agenti.
E' necessario semplificare la forma e forse anche le logiche generali.

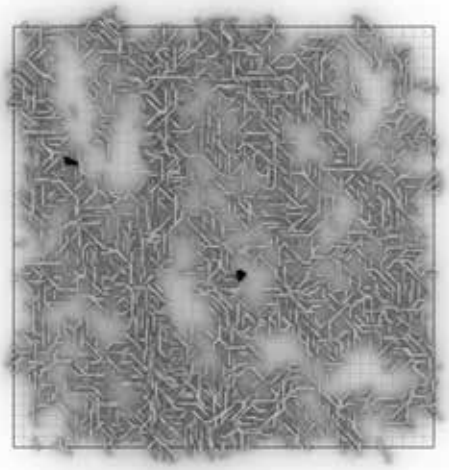


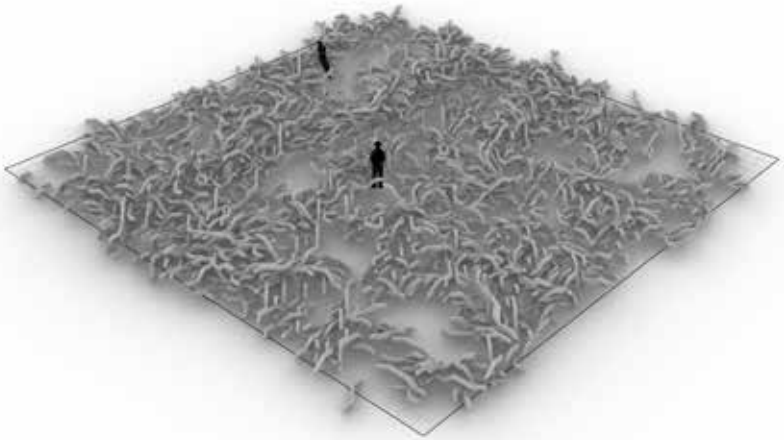
Processo di costruzione simulazione 1



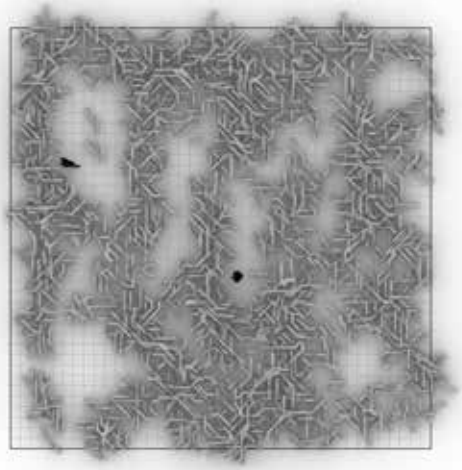
Processo di costruzione simulazione 2

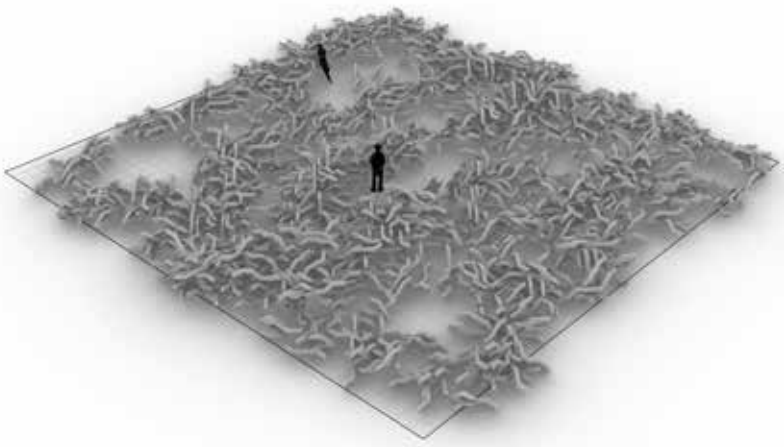
SIMULAZIONE 1 *VLD = 5*

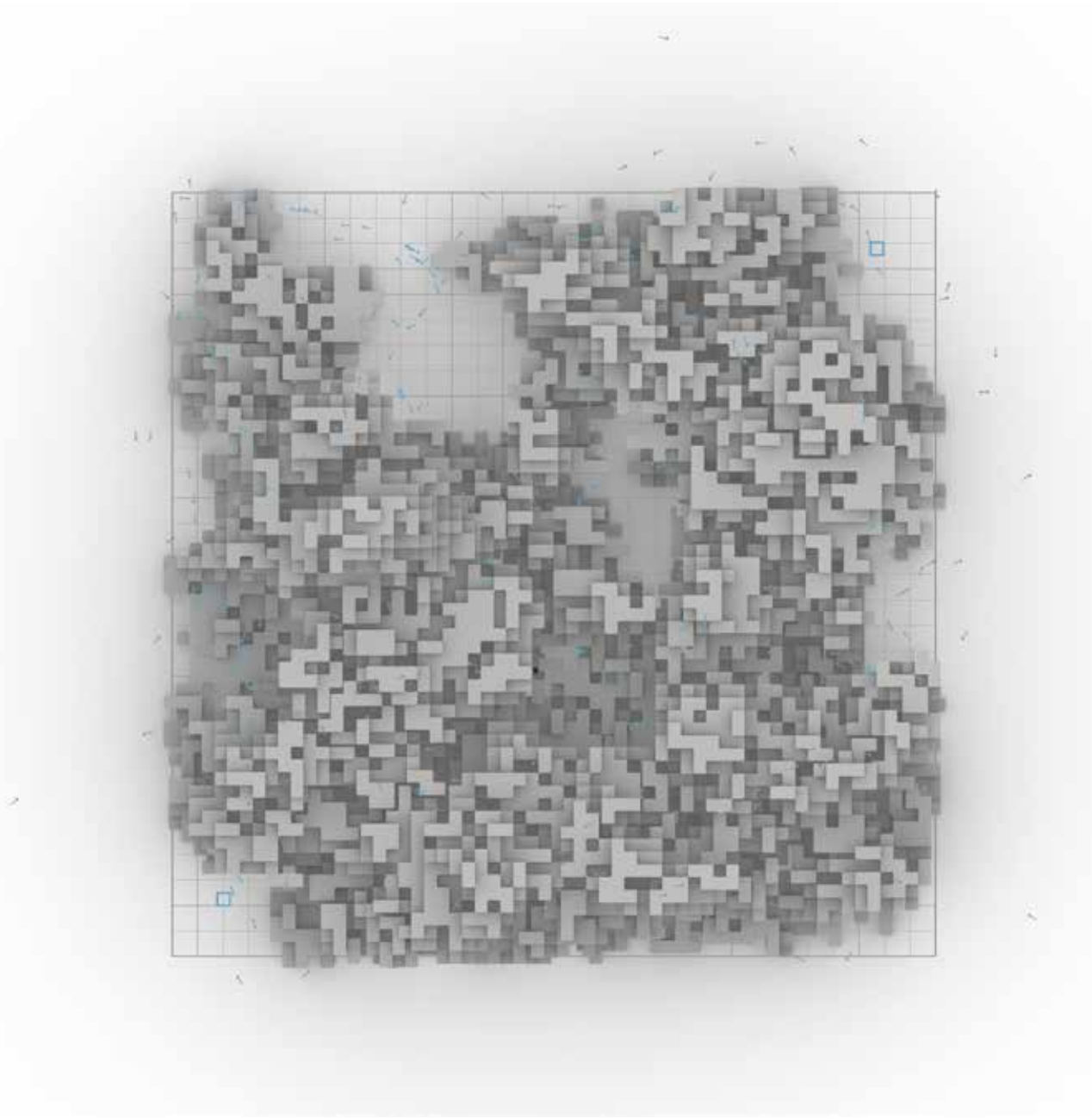




SIMULAZIONE 2 *VLD = 10*







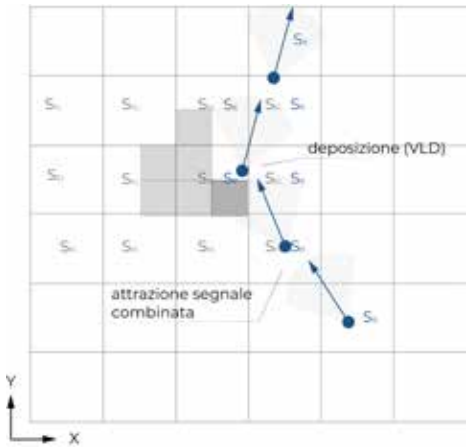
2.5 | DESIGN PROCESS
POPOLAZIONE SINGOLA

Le sperimentazioni condotte nei capitoli precedenti portano ad un ***cambio di paradigma*** necessario per valutare l'operato del sistema.
Dall'analisi di questo si nota come la ***simbiosi commensale*** intercorsa fra i due agenti porti ad una quasi completa simmetria dei percorsi generati e pare evidente che ci sia una sovrabbondanza di popolazioni inserite nell'habitat per lo scopo perseguito ed il risultato ottenuto.

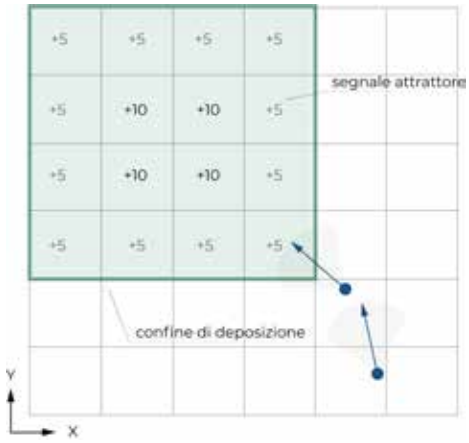
In questo capitolo si testa un nuovo sistema eliminando la popolazione di Emettitori e donando ai Builder le equivalenti capacità stigmergiche utilizzando il proprio segnale (finora inutilizzato). Vengono poi valutati elementi più semplici ed e le potenzialità della variazione dei rapporti dimensionali.

INTERAZIONE MUTUALISTICA

Gli ***Emitters*** vengono esclusi dalla sperimentazione per lasciar spazio esclusivamente ai ***Builders***. Questi possono portare il processo costruttivo agli stessi risultati anche senza un *agente guida*. Questo era stato progettato principalmente per una funzione di indagine e scansione dell'ambiente per semplificare il lavoro dell'agente costruttore anche in un possibile sviluppo sperimentale in un contesto reale (es. droni esploratori).
Gli agenti costruttori seguiranno ora il proprio segnale e quello emesso dagli elementi da essi stessi depositati. Con questa modifica, il rapporto che si definisce fra Elementi e Builders è descrivibile come un *reciproco scambio di risorse*, una sorta di ***simbiosi mutualistica***.



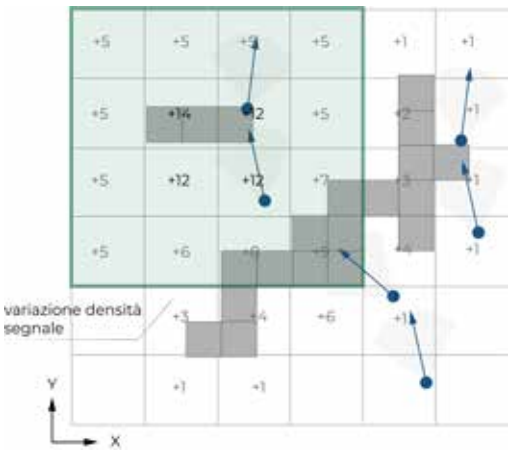
I Builders seguono il proprio segnale e quello degli Elementi.
Gli elementi riassumono una forma semplice.



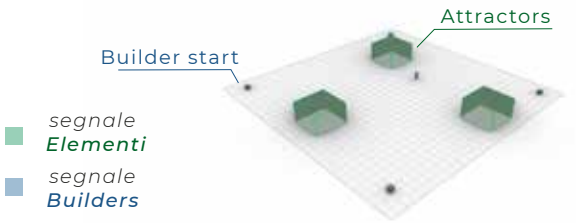
Zona di attrazione e ed inizio deposizione con gradiente decrescente di segnale dal centro del "Box".

ATTRATTORI E DEPOSIZIONE

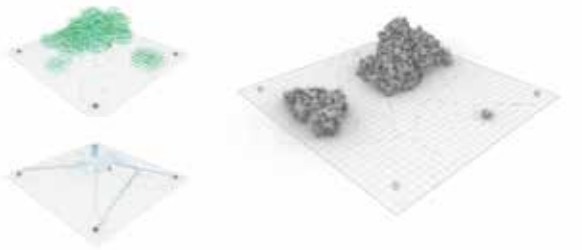
La deposizione può essere innescata in ogni momento in cui il segnale supera il VLD.
Lo spazio di navigazione accoglie ora punti attrattori degli Agenti e di "start" del processo di costruzione. Nel ***Layer0***, il primo livello di navigazione, la deposizione può *iniziare solo nei punti dello spazio definiti come attrattori* e proseguire solo se i Builders *rilevano nel proprio intorno la presenza di uno o più element*i con i quali poter far innescare l'assemblaggio. Si introduce quindi la logica di accumulo progressivo utilizzata nelle tecniche di DLA [10]



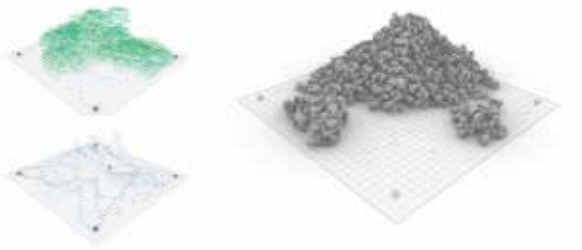
Costruzione progressiva a partire dalla zona di start. Rafforzamento del segnale degli Elementi all'interno della zona dopo la deposizione.



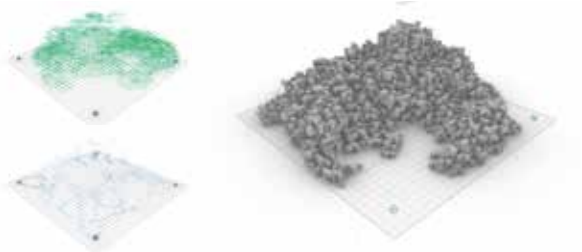
Start: 400 Builders (1 / 1 it)



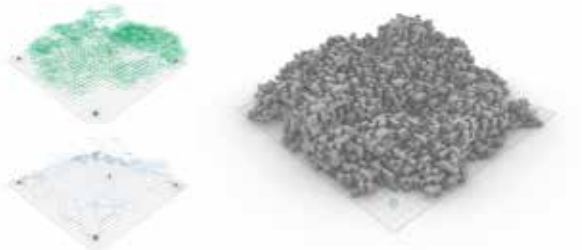
500 it



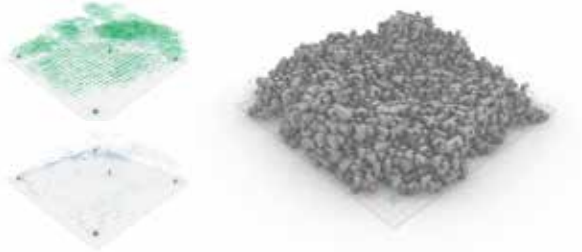
1000 it



1500 it



2000 it



2500 it

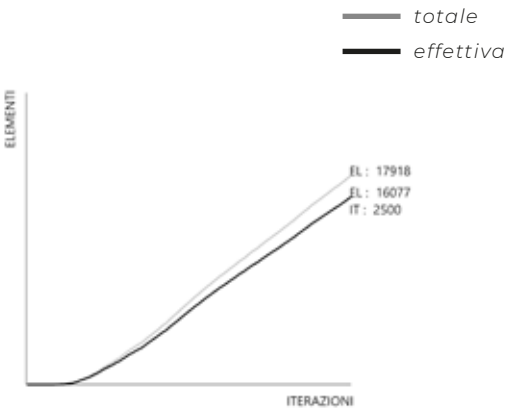
DEPOSIZIONE ILLIMITATA

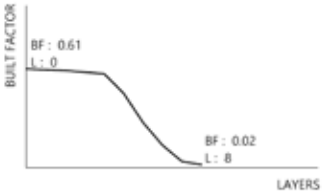
Nella nuova declinazione si toglie la capacità max di deposizione dei Builders per sperimentare e valutare gli estremi risultati del processo.

Questa modifica, come visibile nella simulazione riportata a fianco, porta il sistema ad ***espandersi con una crescita continua***: le interazioni fra Agenti ed Elementi sono regolati esclusivamente dall'evaporazione del segnale nel tempo ma non esiste una limitazione attiva del processo.

I Builders partono da posizioni definite e vengono introdotti in sequenza nell'Habitat. La tendenza del processo è costante, e l'occupazione dei primi layers risulta omogenea.

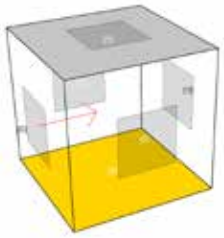
Questi risultati sono permessi dall'uso di un elemento molto più semplice del precedente: una cella cubica.



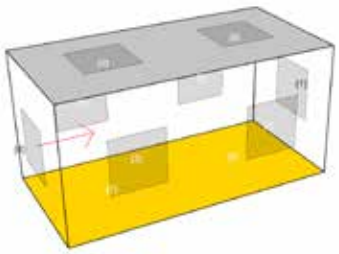


VARIAZIONI DIMENSIONALI

Gli elementi utilizzati nel primo test del nuovo sistema sono cubi di lato R / 2 dove con ***R*** si indica la ***risoluzione dell'ambiente***.
Il vettore orientamento viene assegnato come vettore direzione fra i piani 0 ed 1 determinati in maniera arbitraria tra le facce parallele del cubo.
Viene segnata in *grigio* la faccia corrispondente alla parte ***"superiore"*** dell'elemento e in *giallo* quella ***"inferiore"***.
Per semplicità di visualizzazione la superficie laterale non è stata colorata.
In questo modo viene determinato l'orientamento dell'elemento al momento della deposizione.

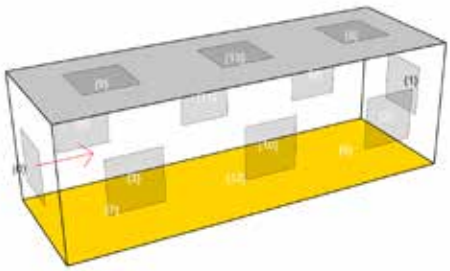


Elemento 1x1



Elemento 1x2

Seguendo gli stessi criteri sono progettati altri due elementi a forma di parallelepipedo con rapporti dimensionali ***1x2 e 1x3***. Nell'applicazione dell'ultimo caso, *la risoluzione del sistema deve essere aumentata di R/2* affinché i Voxels riescano a computare correttamente la loro posizione.

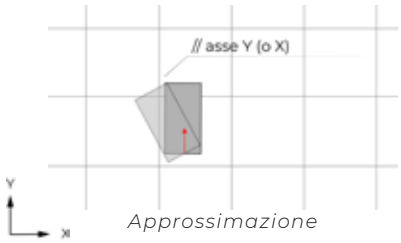


Elemento 1x3

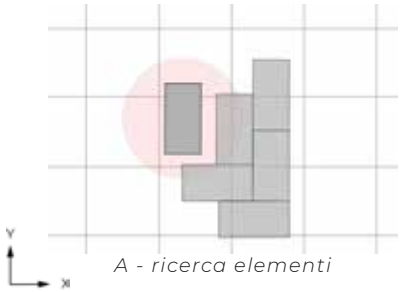
ORIENTAMENTO

Il vettore orientamento dell'elemento segue sempre la corrispondenza con il vettore velocità del costruttore al momento della deposizione.
Per evitare questa volta l'innescarsi di costruzioni caotiche, il rischio di numerose compenetrazioni ed erosioni di migliaia di elementi, si apporta un'***appros-***

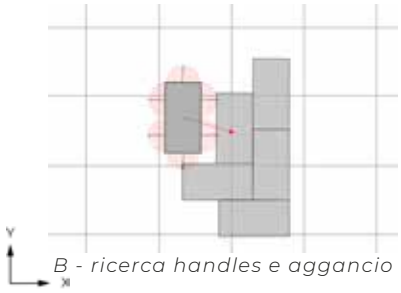
Deposizione



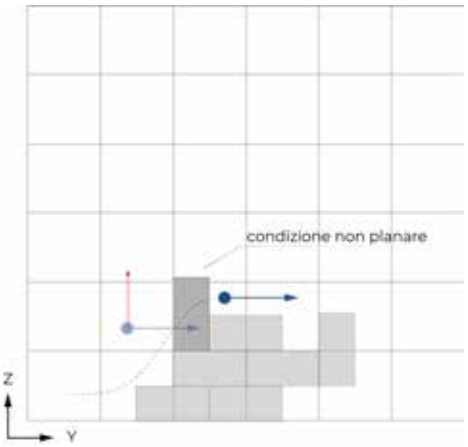
Approssimazione



A - ricerca elementi



B - ricerca handles e aggancio



simazione nell'istante in cui avviene il rilascio dell'elemento. L'elemento viene orientato secondo uno dei ***3 assi principali*** che individuano l'ambiente (XYZ) in funzione dell'orientamento locale, avviene quindi un approssimazione del vettore velocità con un angolo di tolleranza di 45 gradi rispetto ai vettori di riferimento globali.

CONDIZIONI PLANARI

Determinate quindi queste condizioni e considerando che il movimento degli Agenti avviene quasi sempre parallelo al piano di navigazione, le configurazioni principali di deposizione e successivo assemblaggio possono essere definite Planari e così, l'Analisi combinatoria effettuata nelle pagine seguenti.
La procedura di Assemblaggio avviene con i medesimi criteri illustrati nel capitolo precedente:

A. Ricerca Elementi vicini
B. Ricerca delle Handles più vicine
C. Aggancio
D. Verifica delle compenetrazioni ed eventuale erosione dal sistema.

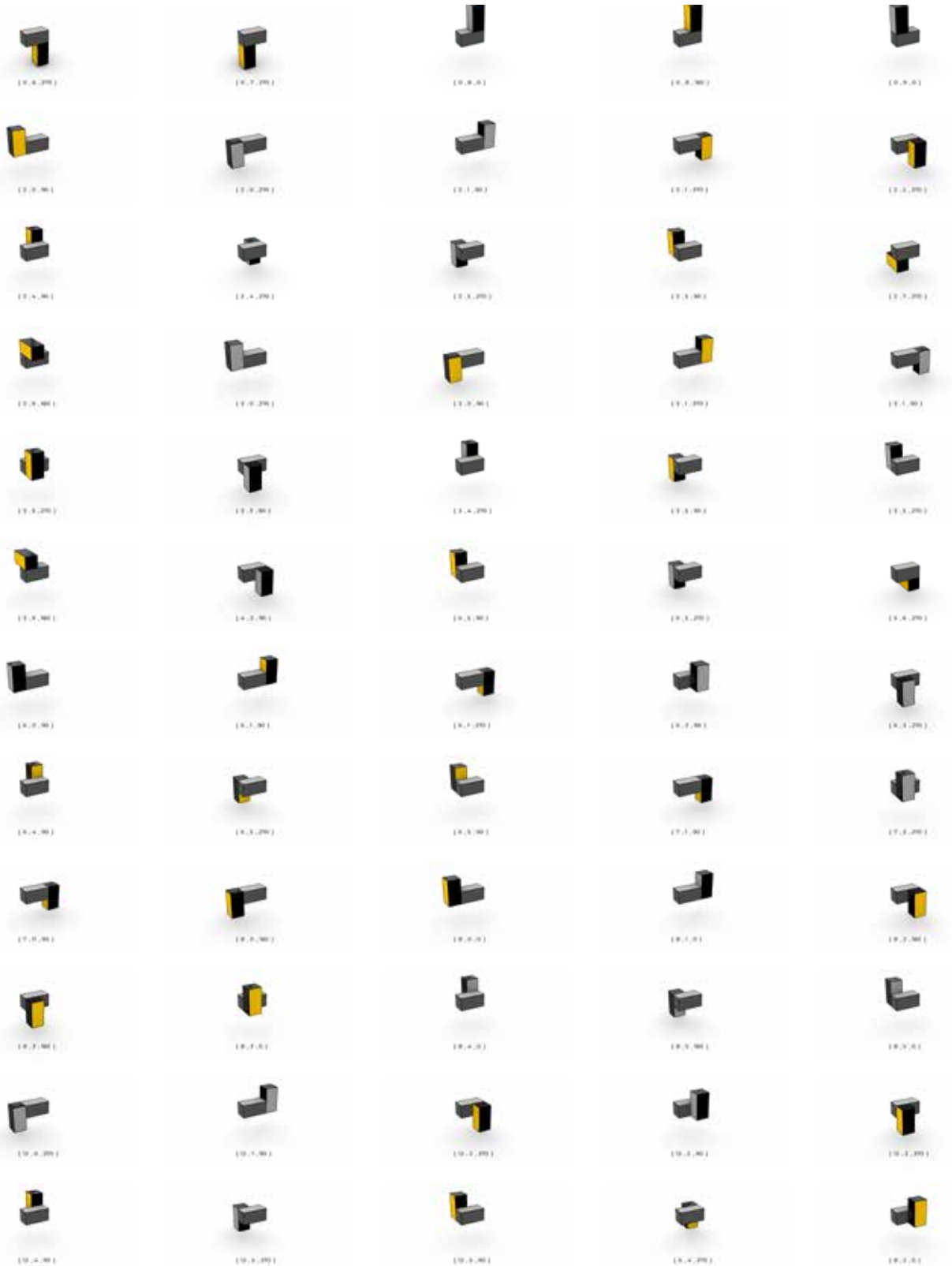
CONDIZIONI NON PLANARI

Nel momento in cui l'Agente sale al Layer superiore e quindi la sua velocità transitoria risulta parallela all'Asse Z globale, se le condizioni ambientali lo permettono (segnale > VLD) allora sarà depositato un elemento con orientamento parallelo all'asse Z (verticale globale).

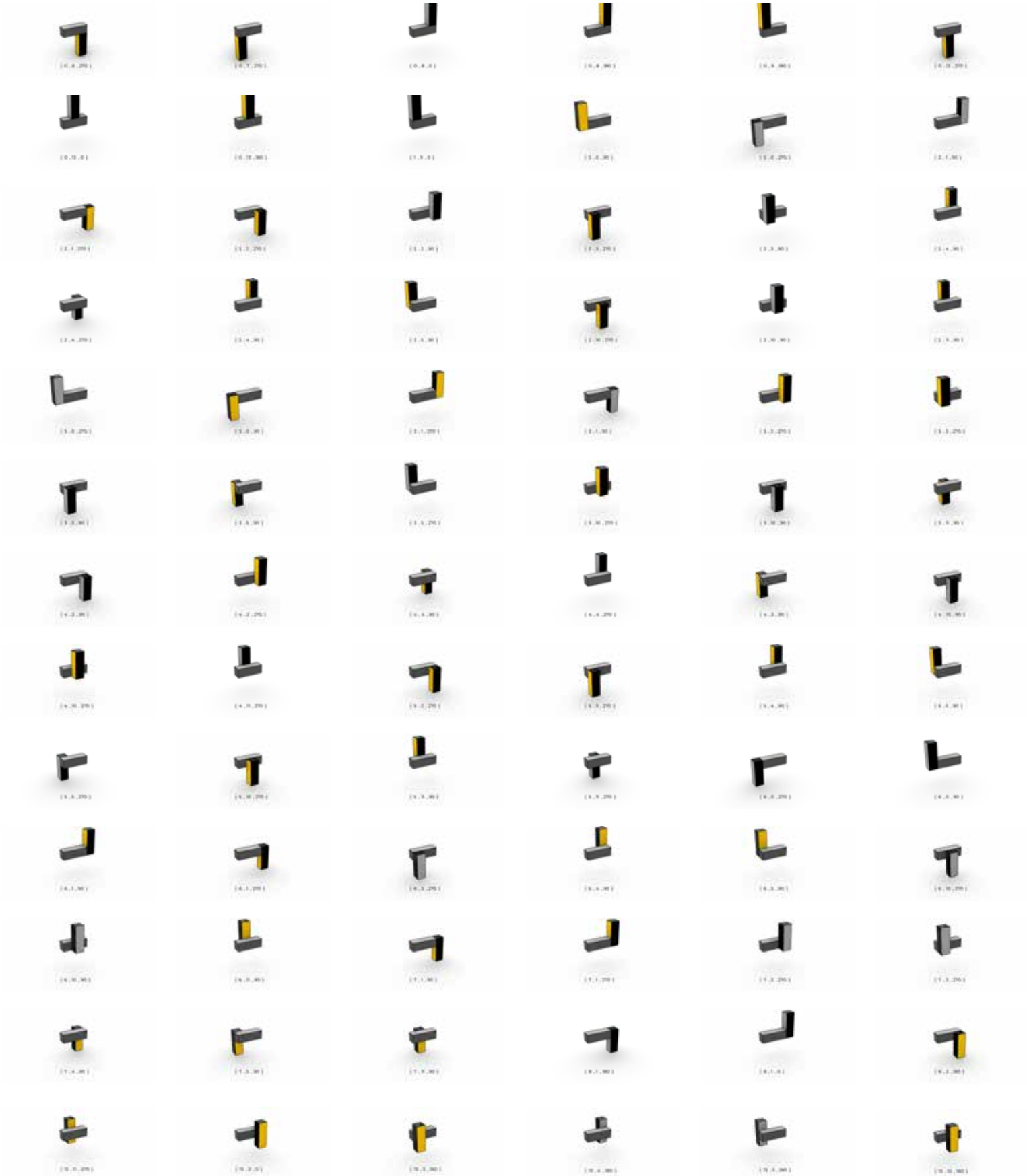
COMBINAZIONI PLANARI 1X2

COMBINAZIONI PLANARI 1X3

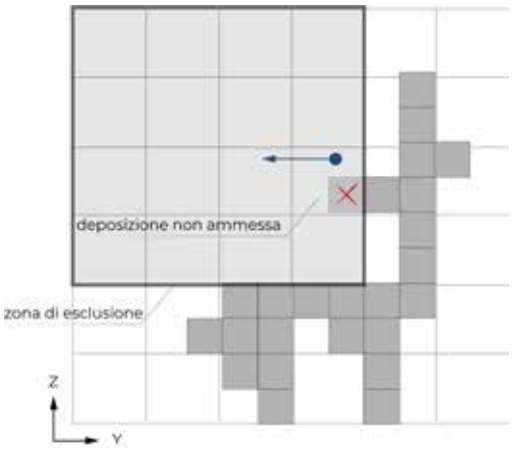
COMBINAZIONI NON PLANARI 1X2



COMBINAZIONI NON PLANARI 1X3

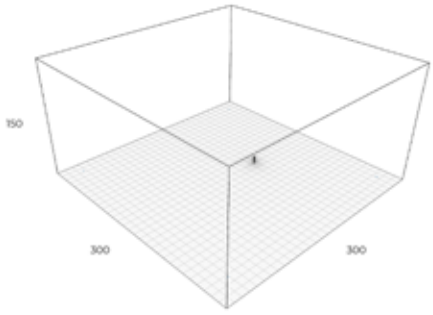


EPLORAZIONI CON REPULSORI



Repulsori - deposizione non ammessa

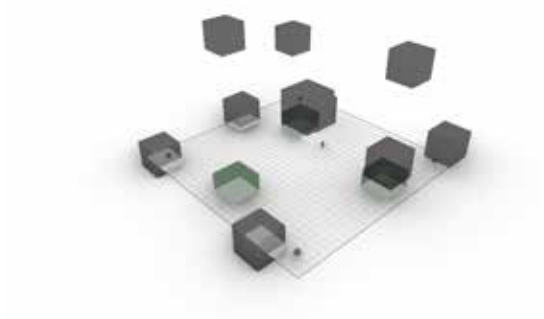
Per l*imitare in parte la tendenza a saturare l'ambiente*, viene introdotto un fattore di limitazione del processo costruttivo: si introducono dei ***punti repulsori*** che alterano l'ambiente circostante, rendendo ***non saturabili*** le celle di quello spazio. Si crea così una ***zona di esclusione della deposizione***, simulando così dei vuoti o ostacoli del contesto.



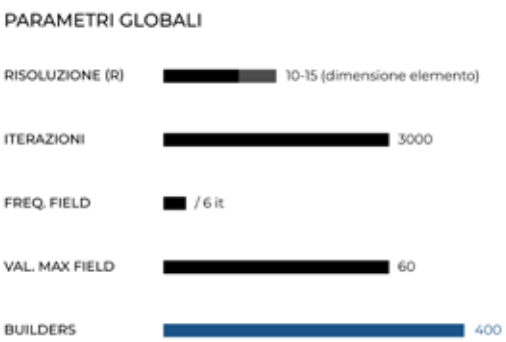
Spazio di navigazione

Nell'ambiente le zone di attrazione sono definite con Box di colore verde mentre quelle di esclusione con Box neri. Le immagini sottostanti descrivono l'***emissione delle zone di attrazione*** ed il conseguente incremento di segnale al momento della deposizione e la parallela stabilizzazione dei percorsi dei Builders (in blu).

Nelle pagine seguenti sono mostrate le esplorazioni effettuate con gli Elementi 1x2 e 1x3 utilizzando prima solo le combinazioni planari e successivamente anche quelle non planari.



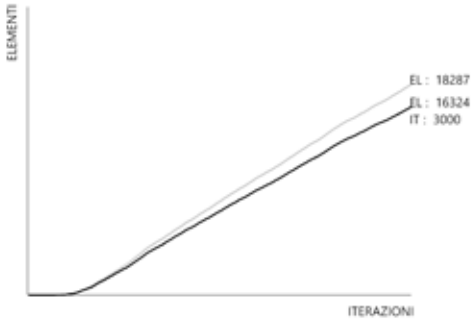
Zone di attrazione (verde) e zone di esclusione (grigio scuro)



ANALISI SIMULAZIONE - E.1X2

Il processo di costruzione ***rallenta*** ed anche il numero di elementi depositati è minore, mentre risulta maggiore la quantità di elementi erosi.

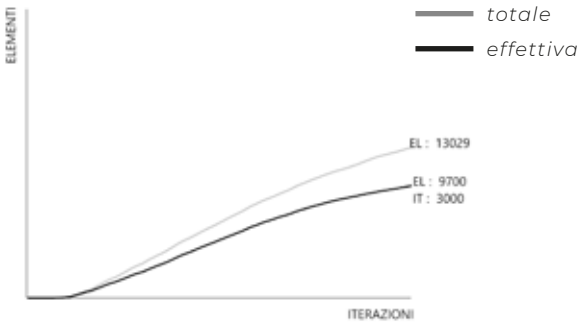
Questi sono gli effetti dell'uso di un elemento geometricamente più complesso del cubo. Occupa più spazio, rende più difficile il movimento degli agenti e

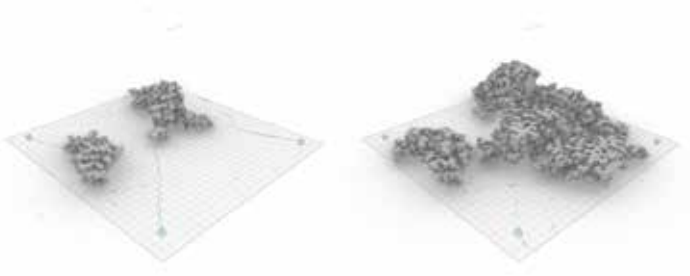


Processo di costruzione con elementi 1x1 con repulsori, omesso in quanto poco differente rispetto al test iniziale.

1X2 - PLANARI

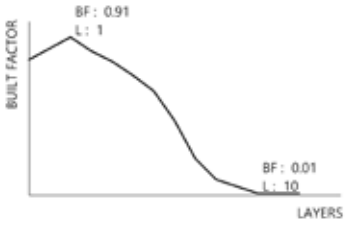
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

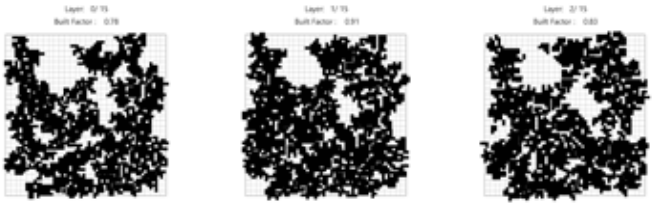




500 it *1000 it*

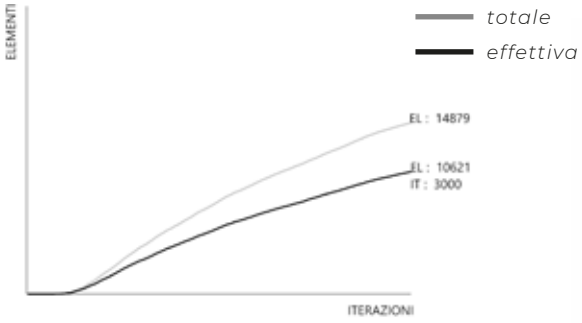
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

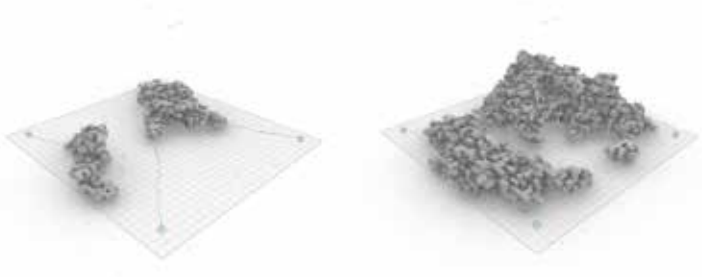




1X2 - NON PLANARI

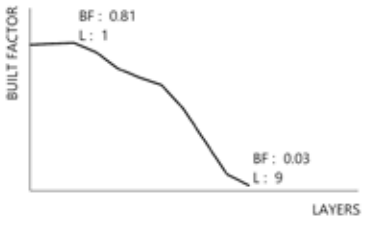
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO



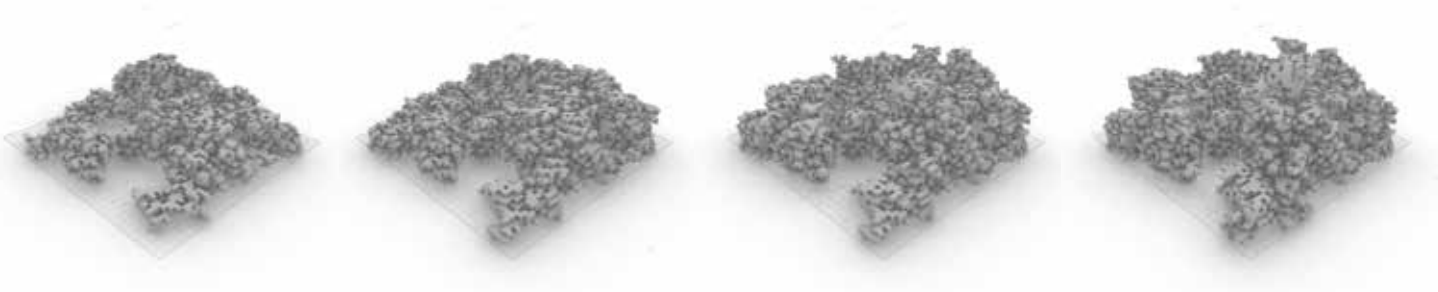


500 it *1000 it*

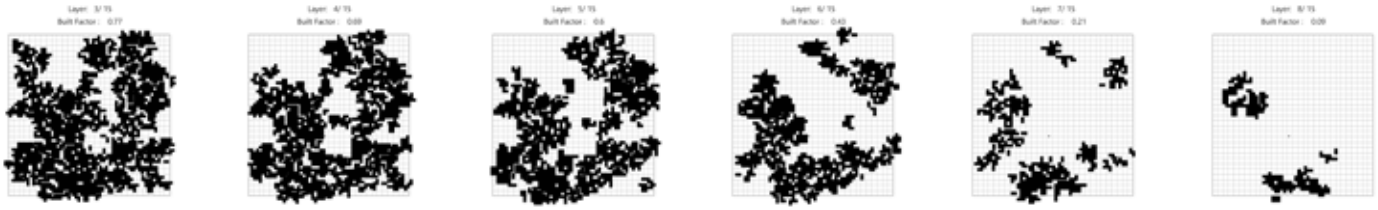
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

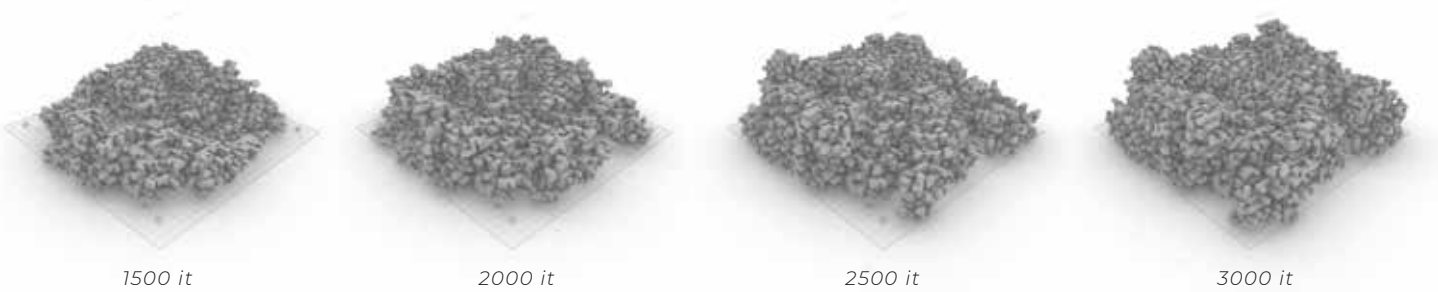


l'assemblaggio più complesso.
L'effetto complessivo porta però risultati più interessanti con formazioni di porosità locali in un contesto ancora molto caotico.
Dalle ***tomografie*** si notano i vuoti lasciati dai punti repulsori che in alcuni casi influenzano la deposizione nelle vicinanze *impedendo la propagazione del segnale degli elementi*.

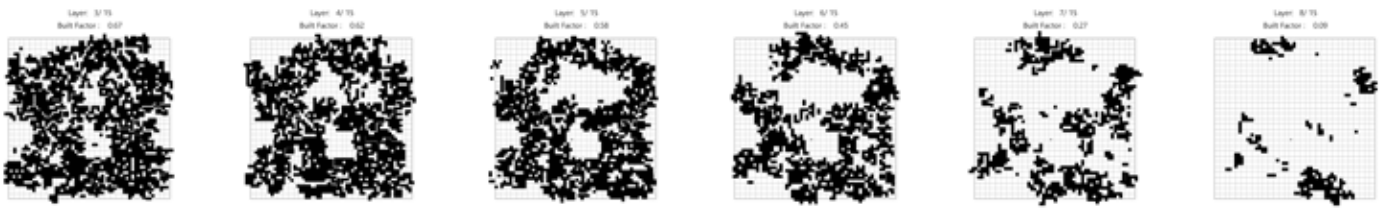


1500 it *2000 it* *2500 it* *3000 it*





1500 it *2000 it* *2500 it* *3000 it*

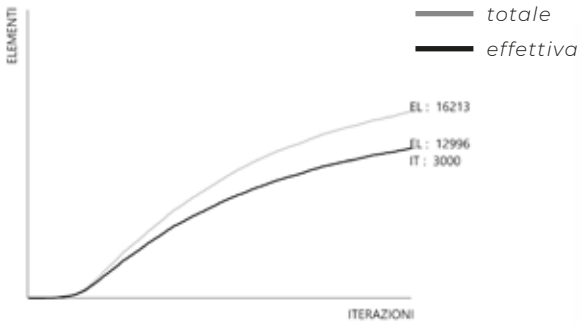


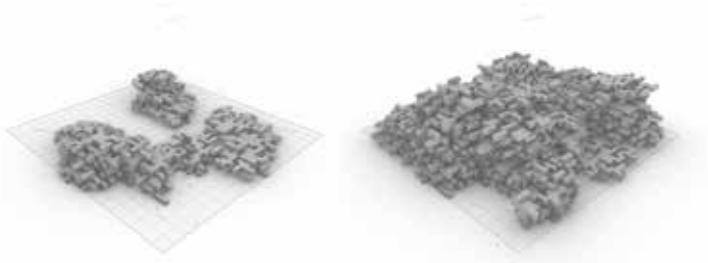
ANALISI SIMULAZIONE - E.1X3

L'andamento della costruzione segue in questo caso un incremento nel numero di elementi depositati ed anche nella velocità con cui si propaga a causa della dimensione maggiore degli elementi e la conseguente discretizzazione meno granulare dell'ambiente.

1X3 - PLANARI

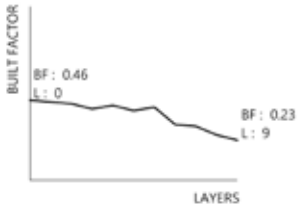
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

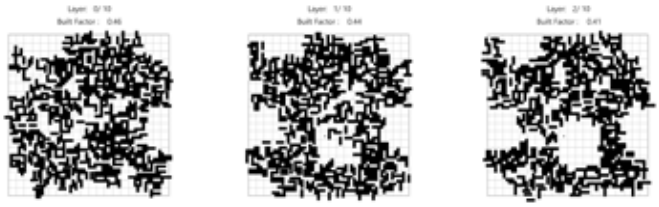




500 it *1000 it*

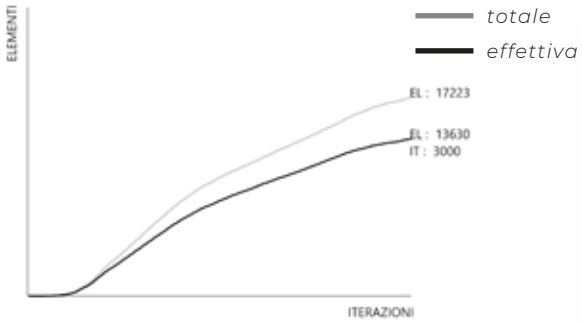
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

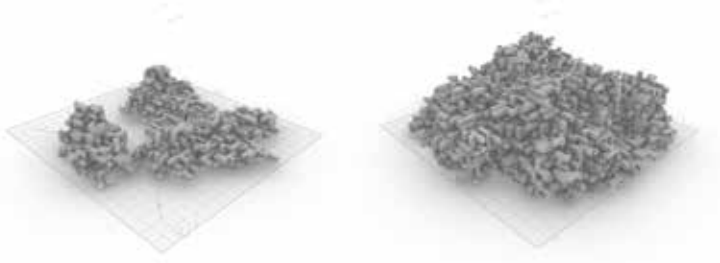




1X3 - NON PLANARI

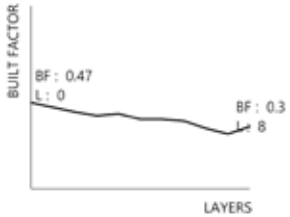
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO



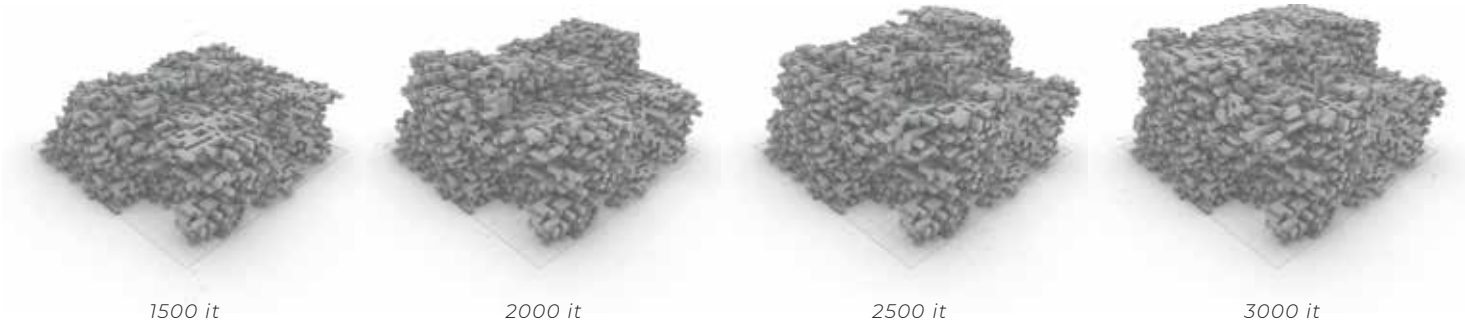


500 it *1000 it*

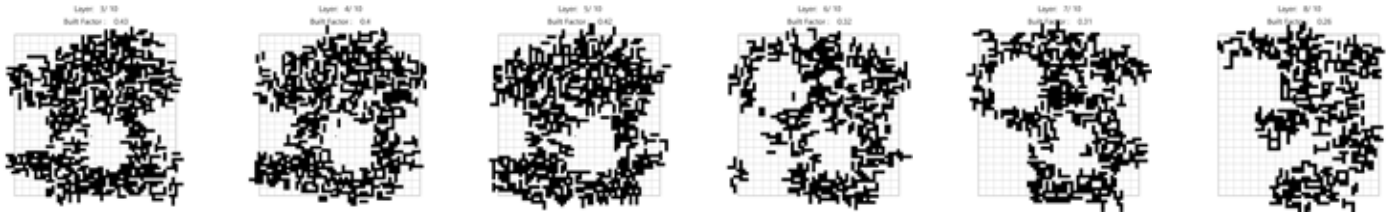
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

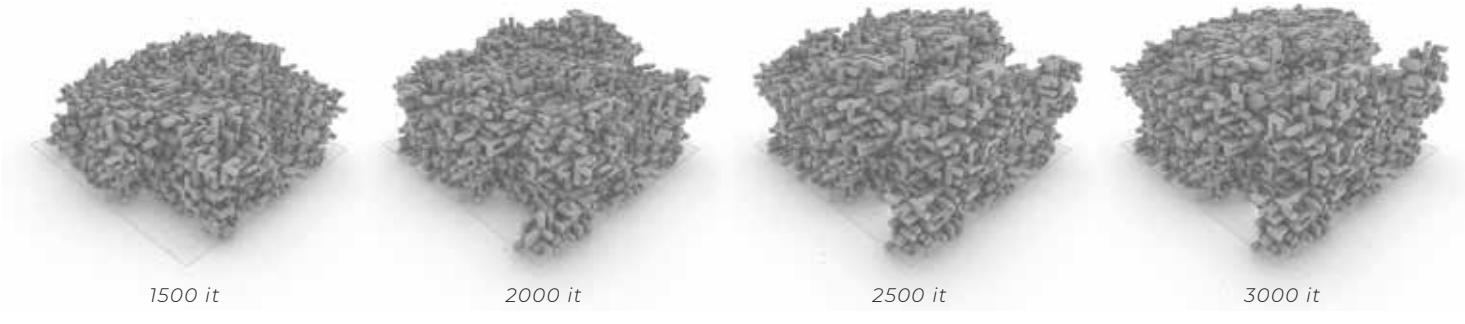


L’occupazione dei Layers della costruzione risulta abbastanza omogenea, lo spazio disponibile è quasi tutto colonizzato anche se non completamente saturo.
Dopo queste sperimentazione giunge la necessità di esplorare i confini dello spazio di navigazione per liberare il sistema da un perimetro ristretto per la sua massima espansione.



1500 it *2000 it* *2500 it* *3000 it*

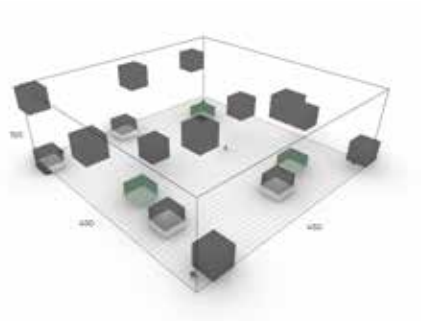




1500 it *2000 it* *2500 it* *3000 it*

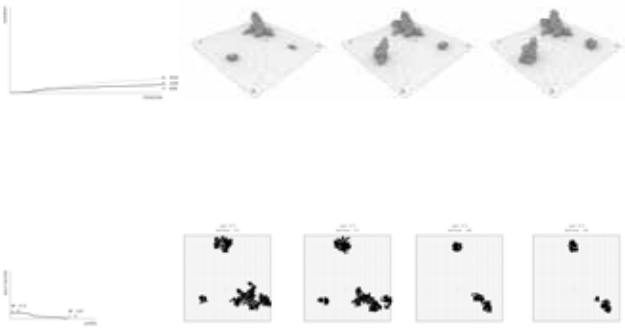
ESPLORAZIONE AI LIMITI

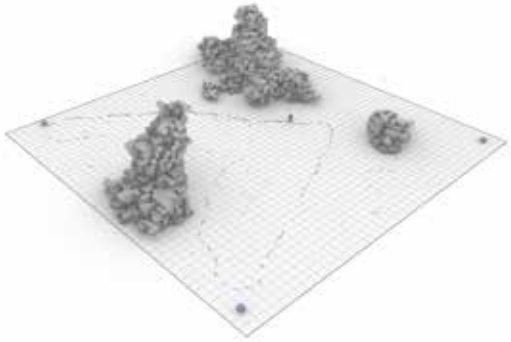
Il processo costruttivo degli elementi 1x2 viene limitato notevolmente mentre risulta essere ancora forte la propensione colonizzatrice degli elementi più grandi. Il risultato generale porta ad un numero di elementi depositati minore, uno sviluppo verticale più limitato ma risulta evidente e confermata la ***tendenza del sistema a saturare lo spazio***.



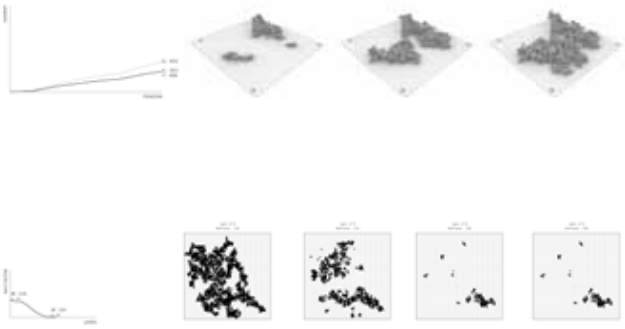
Spazio di navigazione 450x450x150 -
3 attrattori, 15 repulsori, 4 starting Builders

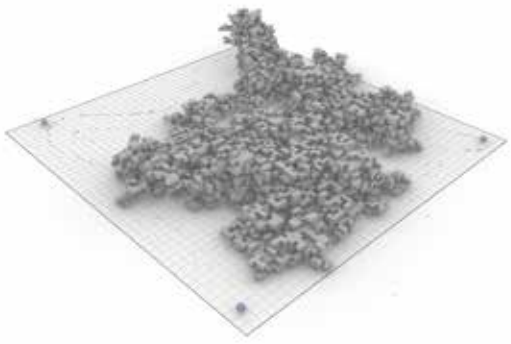
1X2 - PLANARI





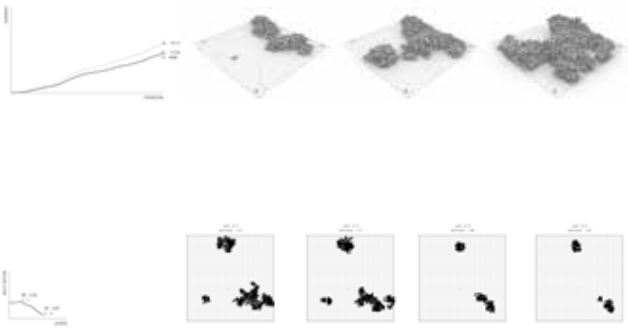
1X2 - NON PLANARI

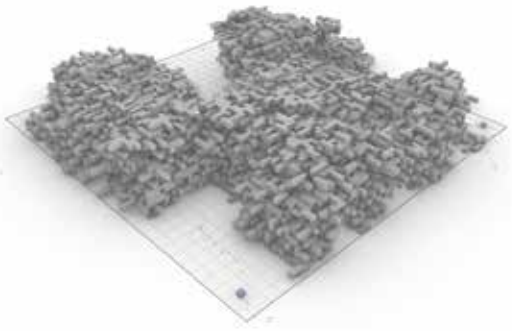




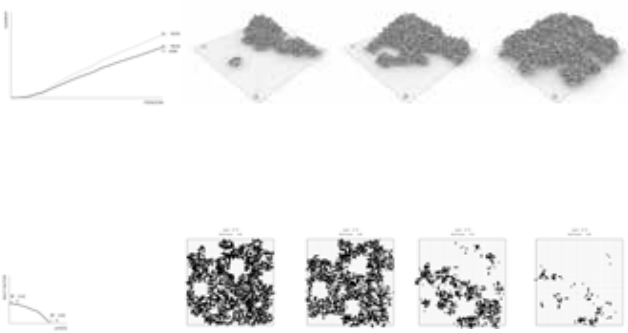
Utilizzare punti determinati a priori come vuoti dell'assemblaggio *non comporta un fattore di originalità cercato nella progettazione* di un'***autonomia di un processo costruttivo***.
Risulta inoltre difficile vedere un'applicazione alla scala dell'elemento architettonico, ma si notano maggiori potenzialità nello sviluppo di ***unità spaziali distribuite in un contesto urbano***.

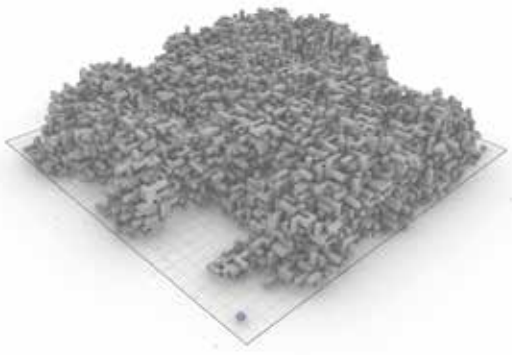
1X3 - PLANARI

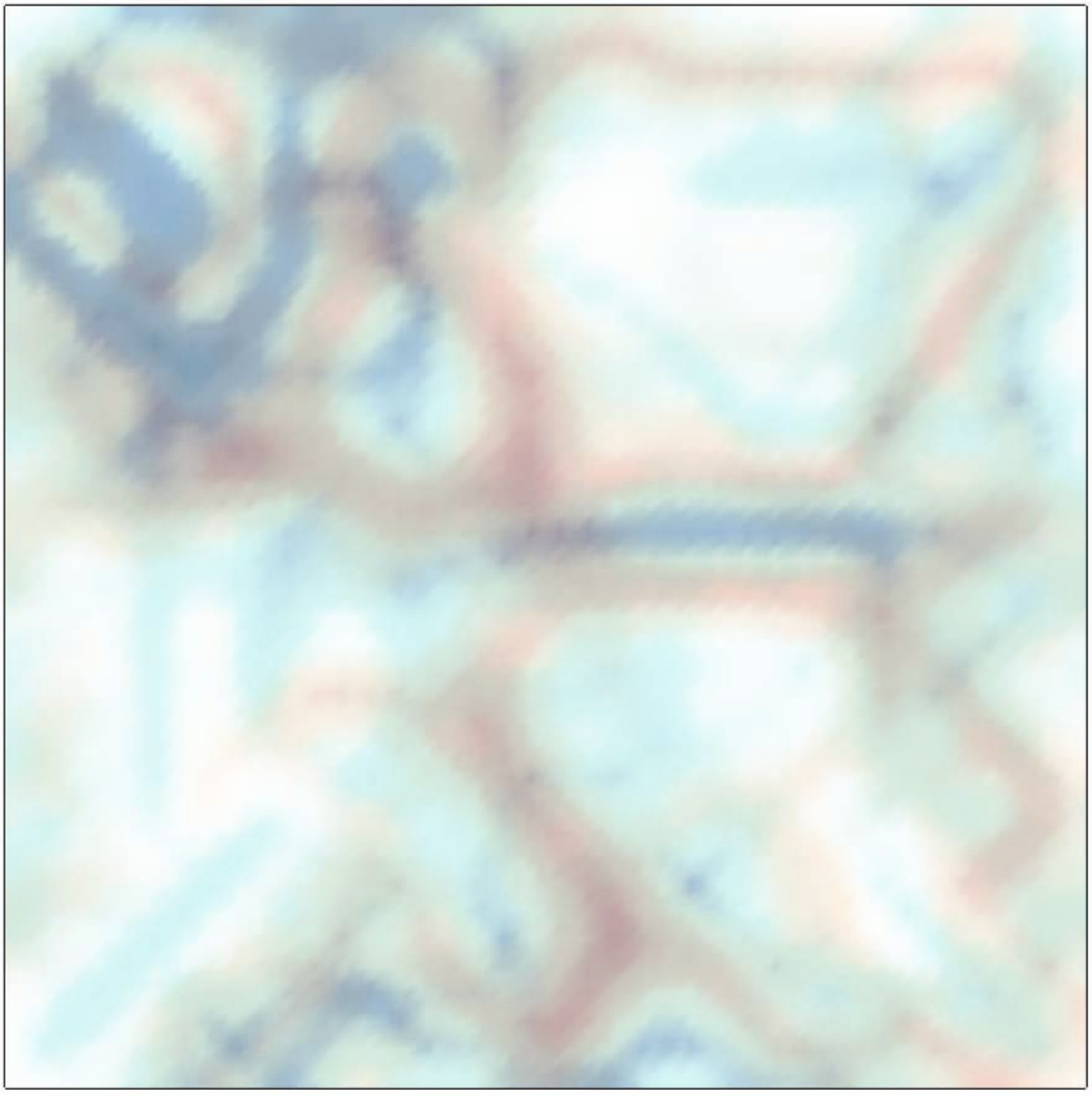




1X3 - NON PLANARI







2.6 | DESIGN PROCESS
COMPETIZIONE SPAZIALE

I rapporti simbiotici finora sperimentati fra gli Agenti e gli Elementi depositati hanno sempre portato ad accumuli prima ed assemblaggi poi, difficilmente classificabili attraverso l'osservazione dei pattern generati in quanto si produceva una stabilizzazione del sistema di navigazione ma non del processo costruttivo.

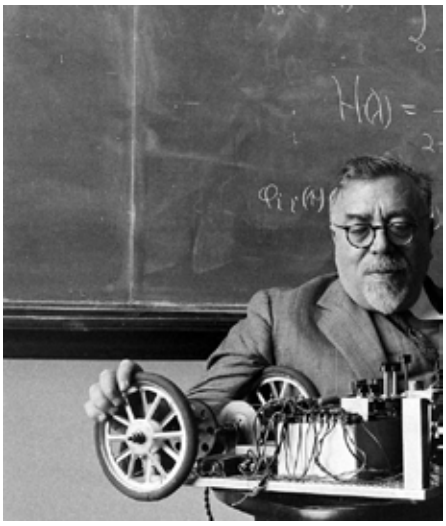
In questo capitolo si reintroduce una seconda popolazione di Agenti avente scopo regolatore, che instaura un rapporto di parassitismo con l'agente costruttore influenzando il processo di costruzione e l'assemblaggio finale.
I rapporti simbiotici diventano multipli e le interazioni vengono ordinate secondo diversi possibili parametri di progetto.

FEEDBACK LOOP NEGATIVO

"Negative feedback, then, is a way of reaching an equilibrium point despite unpredictable, and changing, external conditions. The "negativity" keeps the system in check, just as "positive feedback" propels other systems onward.".

(Johnson, 2001)

Nella descrizione dei sistemi emergenti e delle loro dinamiche complesse, Steven Johnson pone molta attenzione sullo studio nei meccanismi di feedback o di risposta, che intercorrono fra gli attori dei processi.
Se i feedback positivi (come quelli sperimentati nel sistema precedente) portano all'amplificazione di un fenomeno, quelli ***negativi tendono a regolarlo.*** In maniera molto efficace viene preso come esempio il funzionamento del termostato che, controllando continuamente la temperatura della stanza nella quale è installato, innesca la fuoriuscita di aria calda dall'impianto di condizionamento se la temperatura diminuisce sotto la soglia di settaggio o aria fredda se questa la supera. Questo risulta molto efficiente per il raggiungimento dell'***equilibrio termico*** anziché dover calibrare il sistema di riscaldamento per far fuoriuscire aria alla temperatura desiderata.
Il medesimo scopo è perseguito dal corpo umano: quando la temperatura



Norbert Wiener

aumenta, tenderà ad espellere calore attraverso il sudore mentre se questa si abbassa i vasi sanguigni si restringono ed i muscoli si irrigidiscono contenendo così parte del calore.

Questo è il classico esempio al quale ci si riferisce con ***Omeostasi ,*** termine coniato per indicare tutti quei processi che intercorrono fra esseri viventi per mantenere ***condizioni stabili*** per la sopravvivenza.

Norbert Wiener (1948), considera l'omeostasi come *"l'intero campo di controllo e teoria della comunicazione sia nelle macchine che negli animali"*. I sistemi cibernetici possono memorizzare le variazioni, perturbazioni per ***immagazzinare e trasmettere informazione***[2].

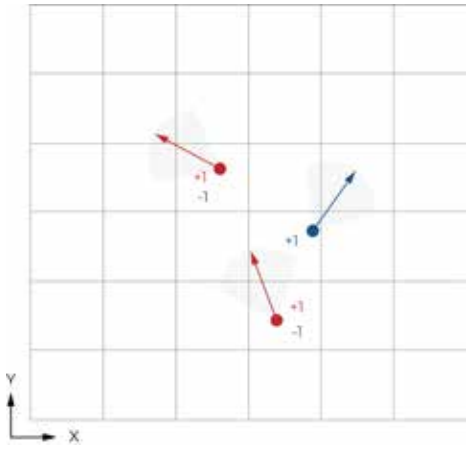
Nella maniera più schematica possibile, i cicli di feedback negativi implicano la comparazione dello stato di un sistema con lo stato desiderato e si attuano meccanismi capaci di ridurre le differenze fra questi due. E' una maniera di trasforma un sistema complesso, in un ***sistema adattivo complesso*** (Johnson, 2001).

COMPETITORS

Le considerazioni precedenti portano a valutare il reinserimento di una seconda popolazione di agenti, la cui interazione con i costruttori (Builders) possa portare ad equilibrare e gestire il processo di costruzione.
Come visto all'inizio del percorso di ricerca, alcune piante competono nello spazio della rizosfera del suolo per ottenere nutrimento rilasciando nel terreno sostanze chimiche capaci di inibire la crescita delle dirette "competitrici".
In maniera analoga vengono progettati ed inseriti nell'habitat i ***Competitors,*** che assumono le stesse caratteristiche di comunicazione ed interazione stigmergica dei sostituti Emitters, differenziandosi però nell'abilità di ***abbassare la densità di segnale dei Builders*** nello spazio.

EROSIONE DEL SEGNALE

I Competitors seguono i propri simili e, come i Builders, sono attratti dagli elementi depositati e quindi anche dai punti attrattori.
Ad ogni aggiornamento del segnale emesso nello spazio però, corrisponde un equivalente ***segnale antagonista dei Builders***: questa quantità viene sottratta localmente alla distribuzione del segnale degli agenti costruttori, quindi se il Competitors aumenta di un'unità il proprio segnale, allora quello dei Builders calerà di altrettanto.



Aggiornamento del segnale nell'ambiente

RELAZIONE ECOLOGICA

Questo nuovo comportamento ed il risultato che ne scaturisce è assimilabile, ecologicamente parlando, ad un rapporto parassitario fra Competitors e Builders in quanto i secondi vengono *esclusivamente danneggiat*i senza essere capaci di rispondere in maniera eguale e contraria competendo direttamente con gli agenti antagonisti.

L'Habitat però possiede le risorse necessarie per alimentare il processo costruttivo dal momento che gli Elementi depositati attraggono tutti gli Agenti presenti.

E' proprio il rapporto mutualistico instaurato fra Elementi e Builders che inizia a competere con i Competitors e come si vedrà in seguito, queste dinamiche complesse portano ad una ***"competizione spaziale"*** nella quale ogni agente crea il proprio percorso critico sviluppando un processo di regolazione della deposizione e stabilizzando quella che prima era un assemblaggio caotico e non classificabile.

PROPRIETÀ AGENTI

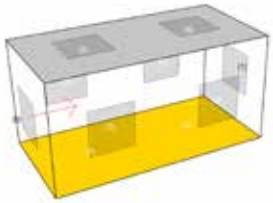
In questo ultimo capitolo di studio del processo si definiscono i parametri endogeni ed esogeni definitivi per poi procedere alla classificazione dei risultati al fine delle possibili applicazioni architettoniche.

ELEMENTI

Il rapporto *1x1* rendeva molto compatto l'assemblaggio senza soluzione di porosità, aspetto ricercato in una composizione spaziale di scala superiore, urbana.

Elemento 1x1

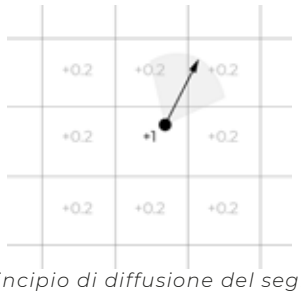
Quello *1x3* invece, produce risultati tendenti al caotico dove le porosità sono, all'opposto, una costante dei layers. Questo eccesso potrebbe essere un problema nella distribuzione interna delle unità a meno che non si aumenti ancora di più la scala di riferimento architettonica. Risulta essere inoltre molto dispendioso in termini computazionali dovendo inserirlo in un contesto molto grande.



Elemento 1x2

L'elemento ***1x2*** rimane quindi l'unico candidato per l'esplorazione finale. Questo risulta in effetti ***ottimale*** in quanto porta il processo costruttivo ad un ***esito bilanciato.*** Le porosità sono presenti ma non eccessive e le sue composizioni possono garantire una continuità topologica delle future unità spaziali dell'edificio - assemblaggio architettonico.

Elemento 1x3



Principio di diffusione del segnale

Principio di diffusione del segnale

Stella con angolo fisso

Stella dai centri delle celle

EMISSIONE - DIFFUSIONE

Il segnale degli agenti è finora emesso localmente, solo nella cella in cui Competitors e Builders si trovano in quell'istante.

Si introduce ora una possibile variazione che più si avvicina al sistema digitale costruito da Jones[5] nel quale il segnale chemioattrattore viene ***diffuso nell'ambiente con un gradiente scalare***. Così lo stesso viene fatto nel sistema multi agente. Il segnale "locale" aumenta di una quantità unitaria mentre le celle presenti nell'intorno saranno influenzate da una frazione di questo.

VISIONE - STELLE DI VETTORI

Viene reintrodotta la possibilità di visione tramite scansione delle celle con ricerca indicizzata in funzione della posizione locale. Le due possibilità (vedi a lato) vengono identificate nei vari test come:

SetVision - vettori ad angolo fisso

CellVision - vettori posizione delle celle

ORDINI DI PRIORITÀ DEI SEGNALI

Nell'ambiente ora sono emesse 3 tipologie di segnali con le quali gli Agenti si devono rapportare. E' necessario comprendere quindi come gli Agenti possano leggere queste informazioni e quali variazioni siano provocate dalle ***priorità assegnate a ciascuna categoria di segnale***.

E' bene ricordare che, precedentemente, gli Agenti costruttori seguivano i il segnale dei propri simili ma nel momento in cui entravano in contatto anche con l'emissione degli Elementi, questa assumeva *carattere prioritario* rispetto al solo proprio segnale.

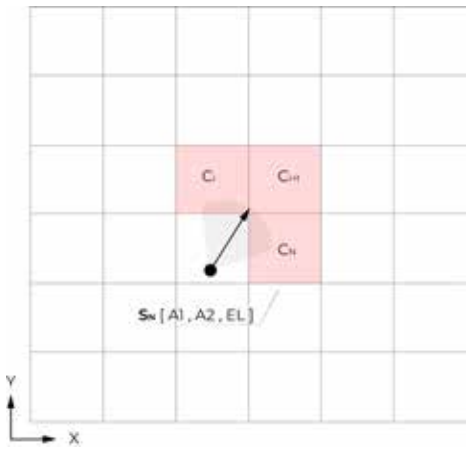
La descrizione delle priorità avviene definendo il segnale riconosciuto come di seguito:

- ***S.A1*** : segnale degli agenti ***simili***
- ***S.A2*** : segnale degli agenti ***diversi***
- ***S.EL*** : segnale degli ***Elementi***

Ogni voxel o cella n-esima dell'ambiente digitale C_n, può contenere quindi un array di segnali differenti.

$$C_i = S_i[A1, A2, EL]$$
$$....$$
$$C_n = S_n[A1, A2, EL]$$

La definizione delle priorità indurrà l'agente ad ***ordinare le celle rilevate*** e scegliere la *prima desiderata* come rife-



Celle rilevate ed ordinabili secondo le densità di segnale

ORDINI

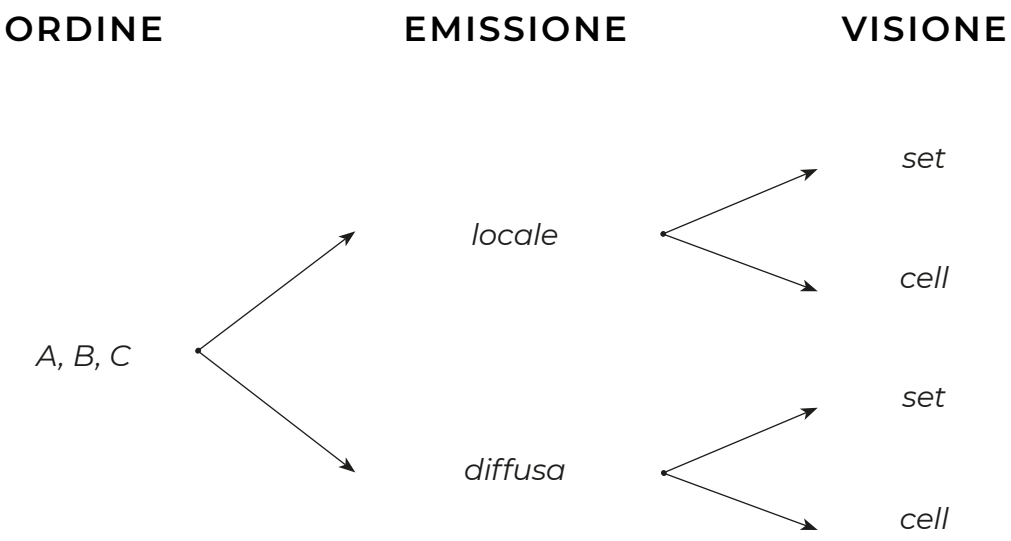
rimento per aggiornare il movimento .
Sono individuate 4 liste di ***Ordini di priorità*** in cui è indicata l'intensità del segnale rilevato. Può essere infatti usato un ordinamento secondo valori crescenti (segnale minore) o valori decrescenti (segnale maggiore).
Gli Ordini sono classificati in ordine alfabetico dalla A alla D. Quest'ultimo però viene scartato in quanto esprime un criterio già sperimentato all'inizio della ricerca ch, evitando il proprio diretto concorrente nel sistema, porta ad un *feedback positivo*.

A	B	C	D
EL ↑	**A1 ↑**	**A1 ↑**	**A2 ↓**
A1 ↑	A2 ↓	EL ↑	A1 ↑
A2 ↓	EL ↑	A2 ↓	EL ↑

↑ = valore maggiore ↓ = valore minore.

ESPLORAZIONI

La classificazione viene effettuata per Ordini, modalità di Emissione e Visione.
Nelle pagine seguenti sono illustrate le esplorazioni effettuate con gli ordini A,B e C e le loro declinazioni come enunciato nel diagramma.

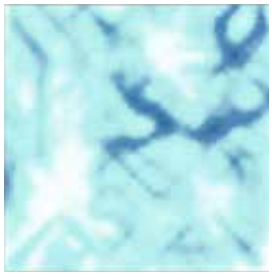


Oltre ai soliti grafici di studio del processo costruttivo e del fattore di occupazione, vengono analizzate anche le mappe di distribuzione del segnale totale accumulato nei voxels dell'ambiente.
Questo permetterà di avere una fotografia del sistema nel tempo e si proverà a comprendere il rapporto fra occupazione dello spazio e percorsi degli agenti.
Verranno mostrate solo quelle dei primi layers dove si stabilizza la maggior parte dell'informazione.

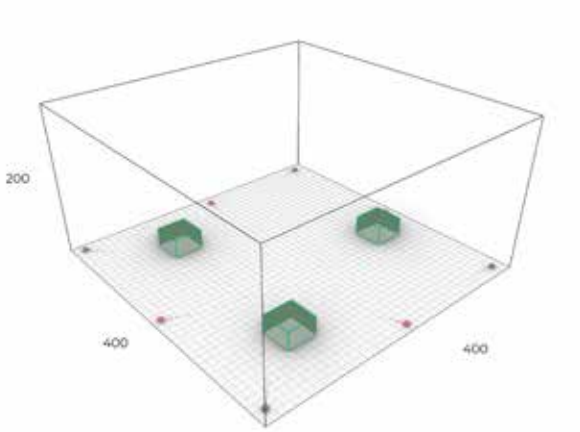
Competitors

Layer0
C
Diffusion
SetVision

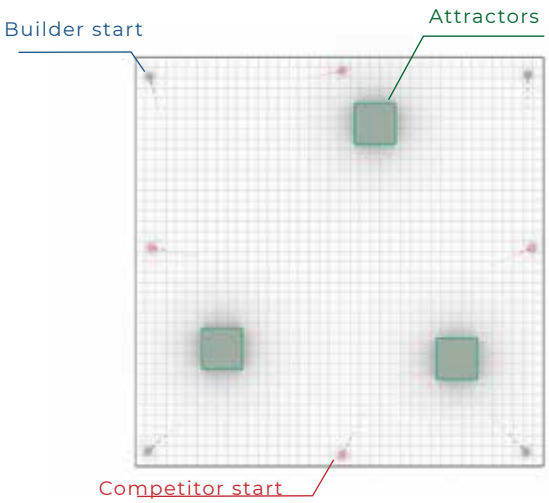
Builders



Layer0
A
Diffusion
CelltVision



Spazio di navigazione: 400x400x200

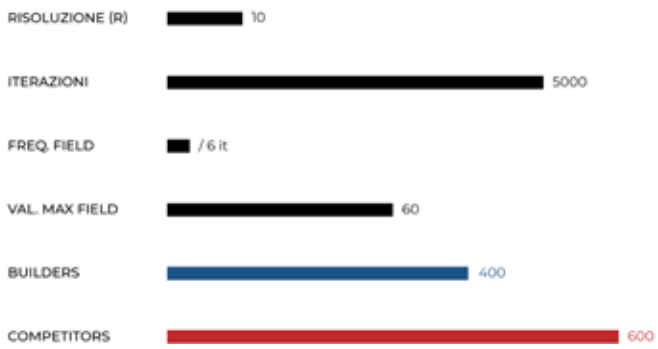


RISOLUZIONE AMBIENTE

L'unità di misura del sistema viene settata in Metri per rispondere alle considerazioni architettoniche precedenti e viene individuata una ***risoluzione di progetto di 10 m***.
Gli elementi dell'assemblaggio avranno quindi sezione trasversale ***5x5 m e lunghezza 10 m.***

Il sistema viene popolato con una *maggioranza di Competitors* per cercar limitare al massimo la deriva di saturazione del processo di costruzione. Il valore max di segnale memorizzato, più alto rispetto alle prime sperimentazioni, permette una maggior stabilità del sistema competitivo.
I posizionamento dei punti di start degli Agenti è settato in maniera arbitrario cercando di mantenere egual distanziamento. I vettori direzione sono casuali ma tendenzialmente convergono verso l centro dell'ambiente.

Le dimensioni dello spazio sono frutto del bilanciamento fra le misure delle prove del capitolo precedente.

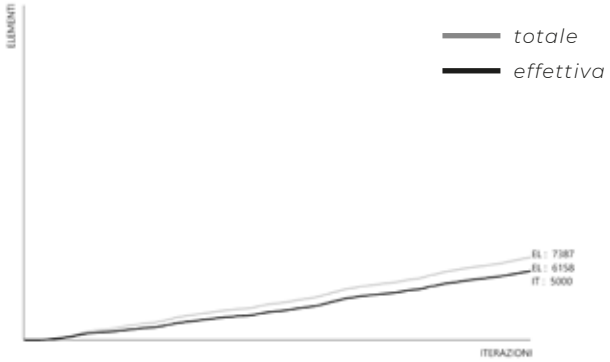


ORDINE A *EL ↑, A1 ↑, A2 ↓*

EMISSIONE LOCALE

SET-VISION

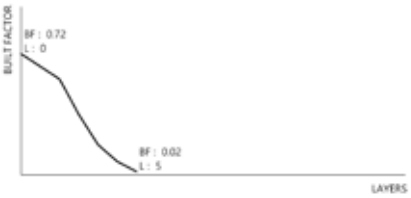
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

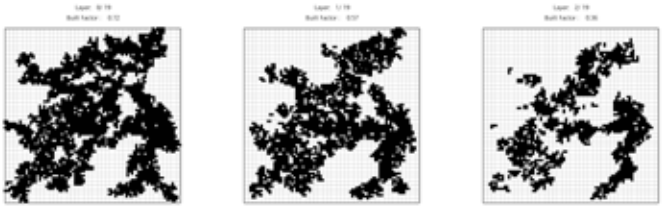


1000 it

2000 it

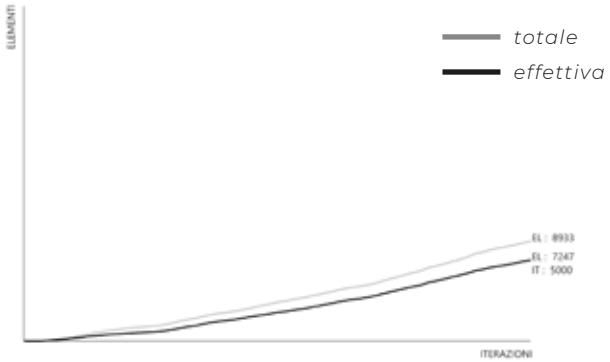
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

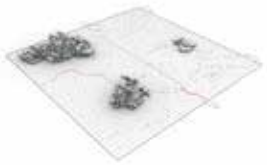




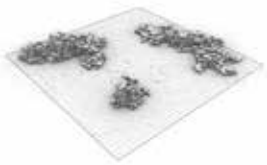
CELL-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO



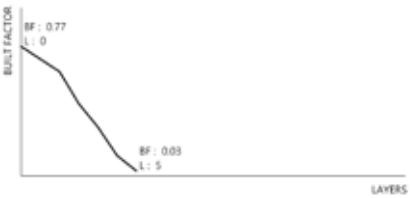


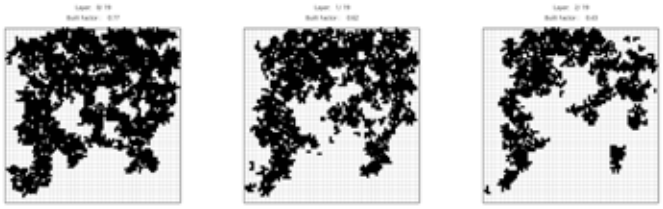
1000 it



2000 it

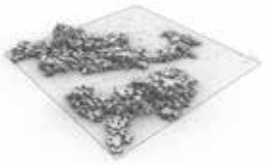
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI



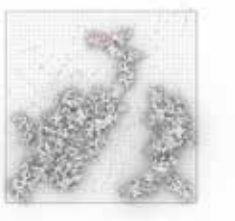


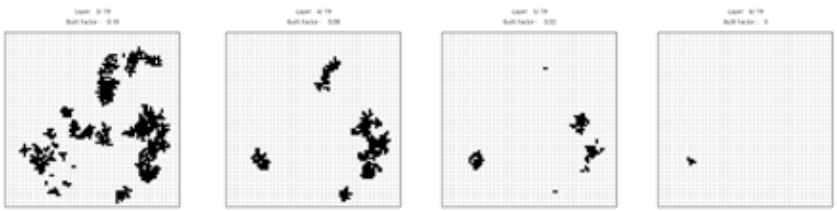
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*

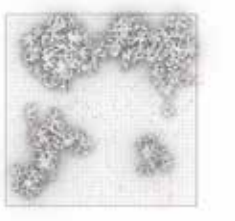


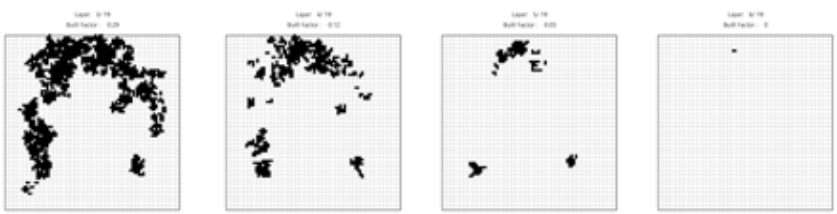


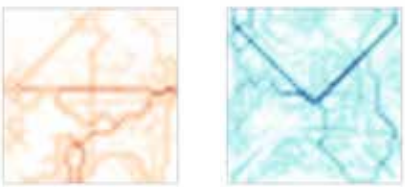
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS BUILDERS

1500 it *2000 it* *2500 it*





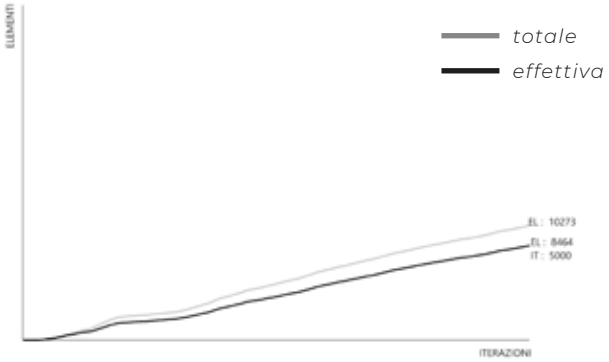


ORDINE A *EL ↑, A1 ↑, A2 ↓*

EMISSIONE DIFFUSA

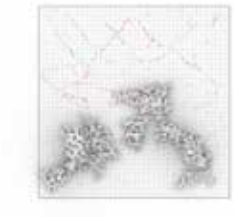
SET-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

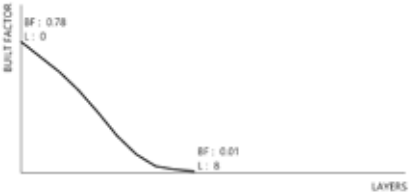


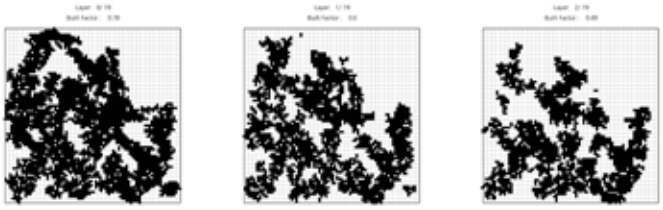
1000 it

2000 it



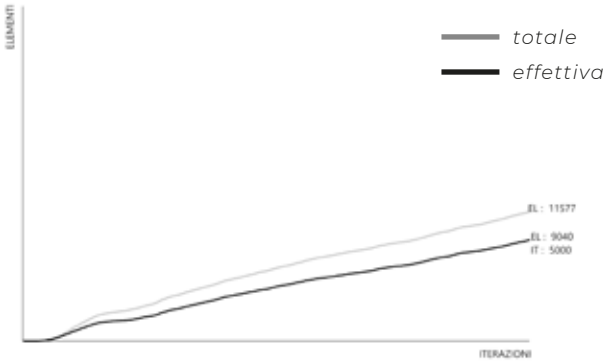
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI





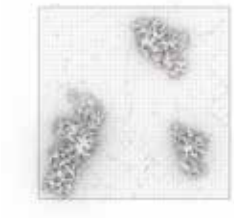
CELL-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

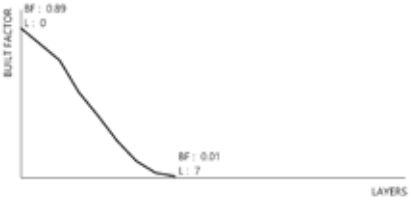


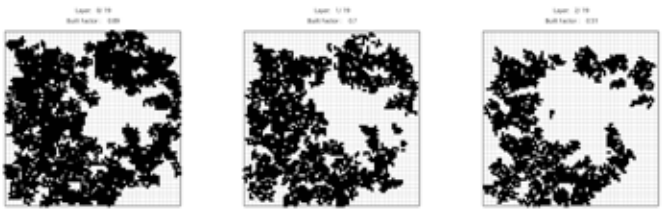
1000 it

2000 it



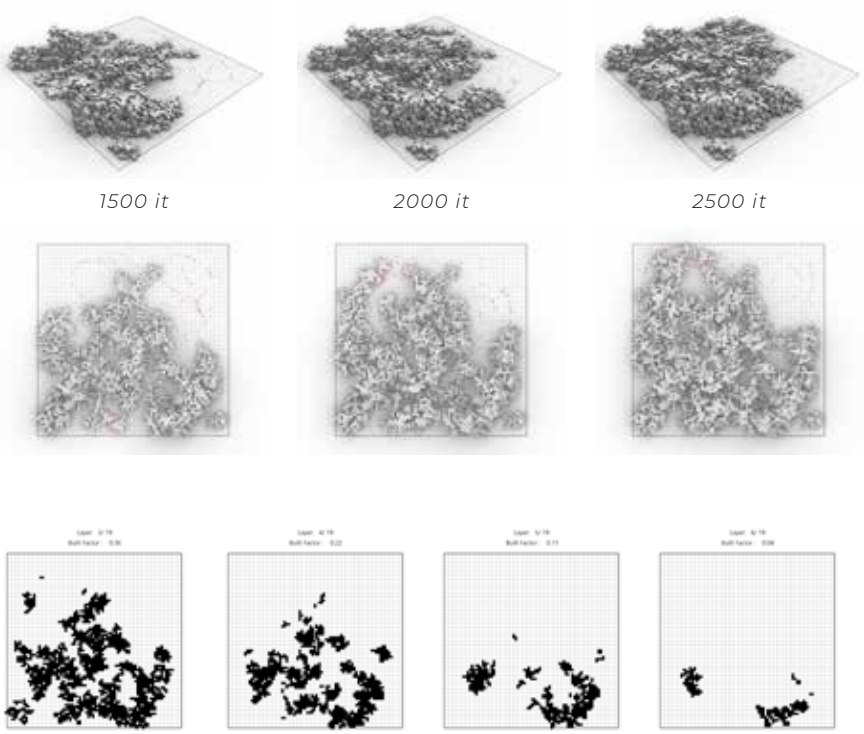
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI



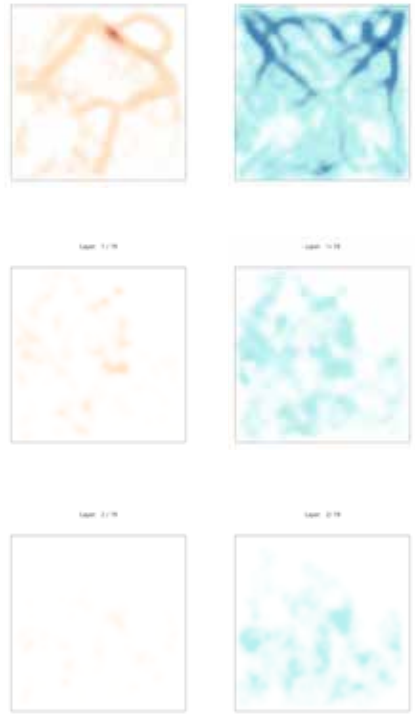


DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS BUILDERS

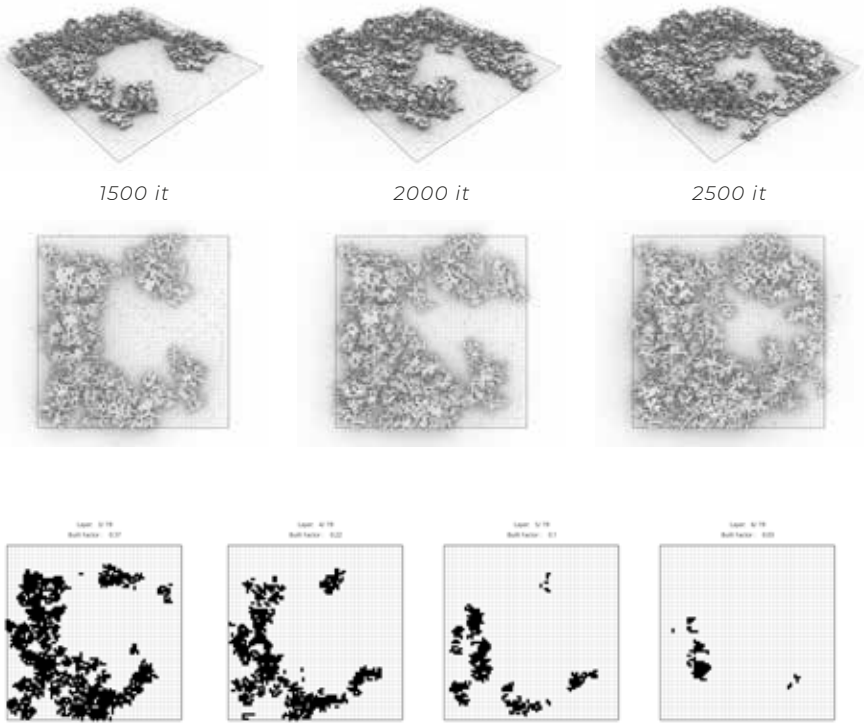


1500 it *2000 it* *2500 it*

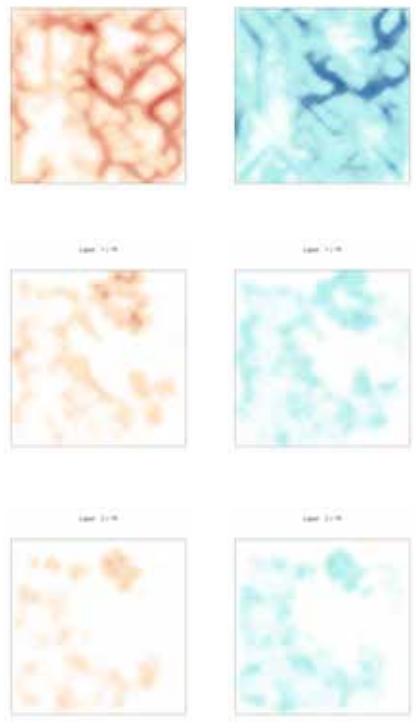


DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*

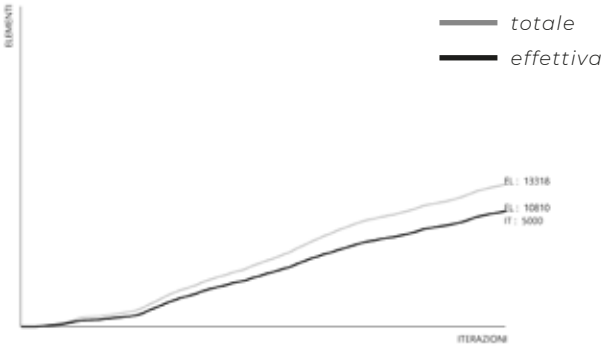


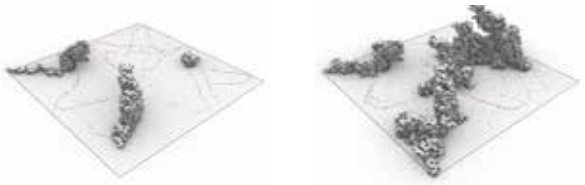
ORDINE B *A1 ↑, A2 ↓, EL ↑*

EMISSIONE LOCALE

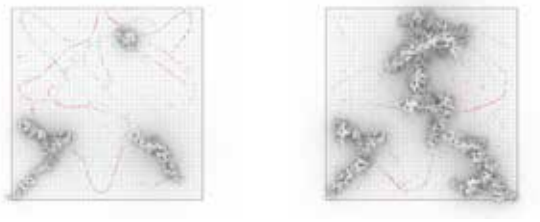
SET-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

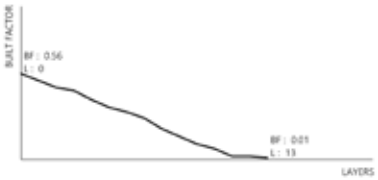


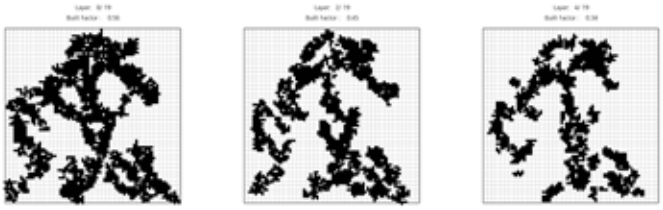


1000 it *2000 it*



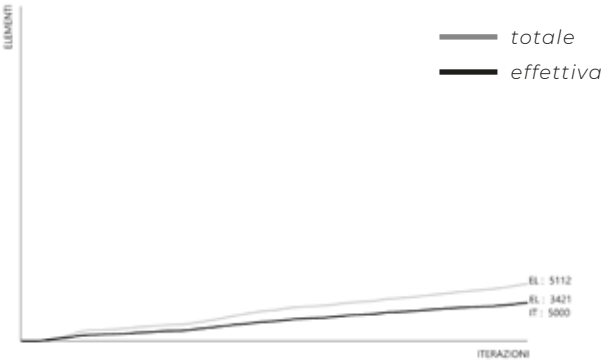
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

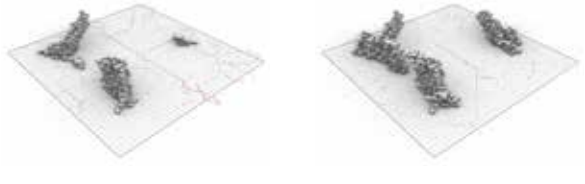




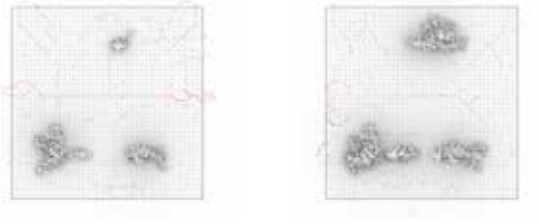
CELL-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

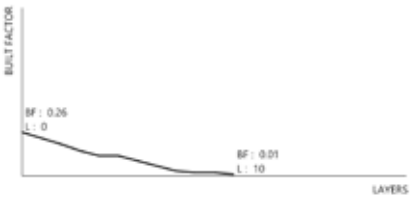


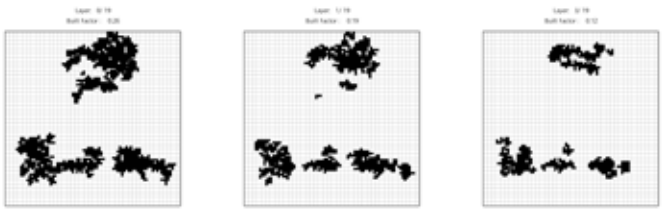


1000 it *2000 it*



TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

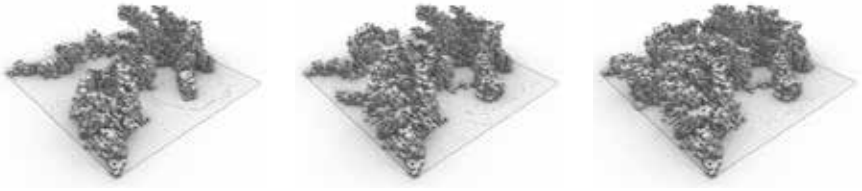




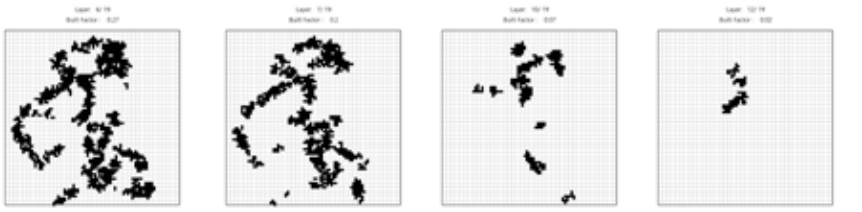
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS

BUILDERS



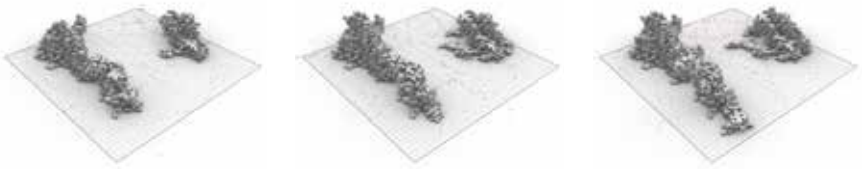
1500 it *2000 it* *2500 it*



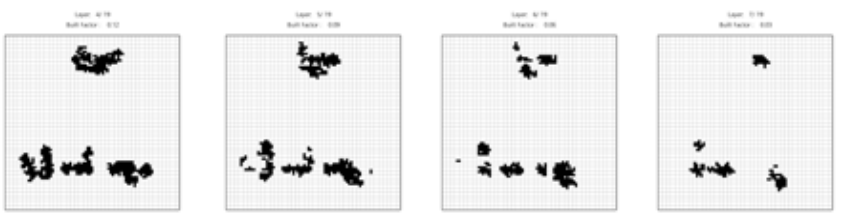
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

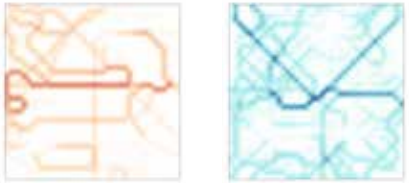
COMPETITORS

BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*



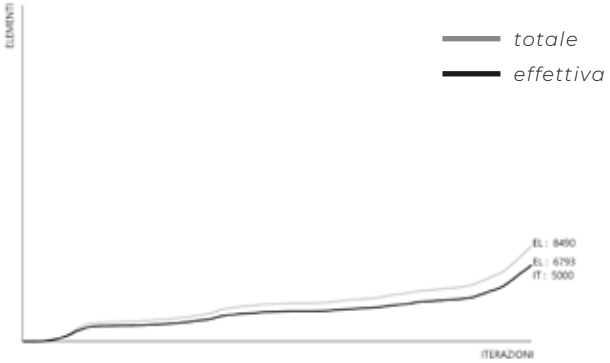


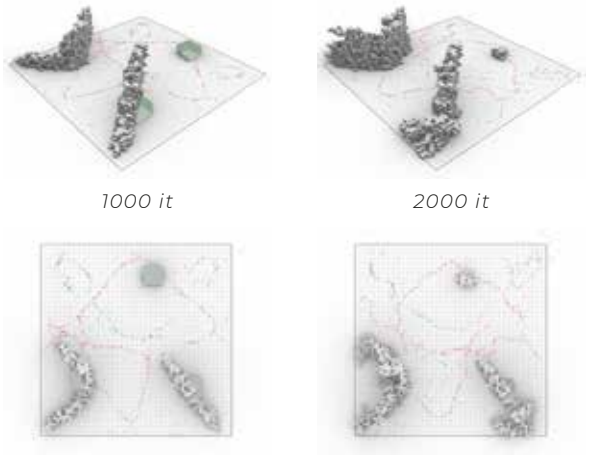
ORDINE B *A1 ↑, A2 ↓, EL ↑*

EMISSIONE DIFFUSA

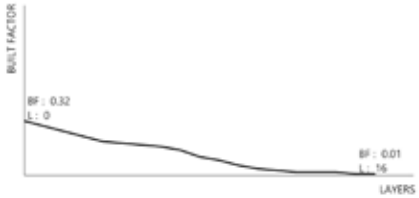
SET-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO



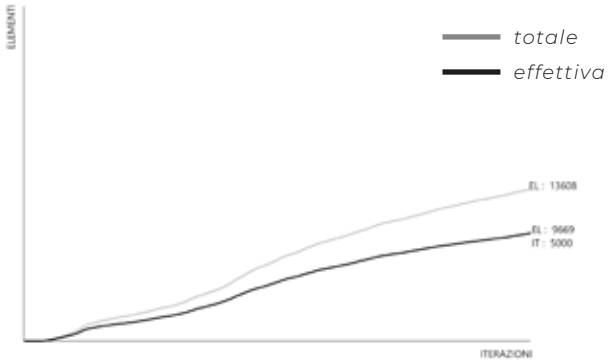


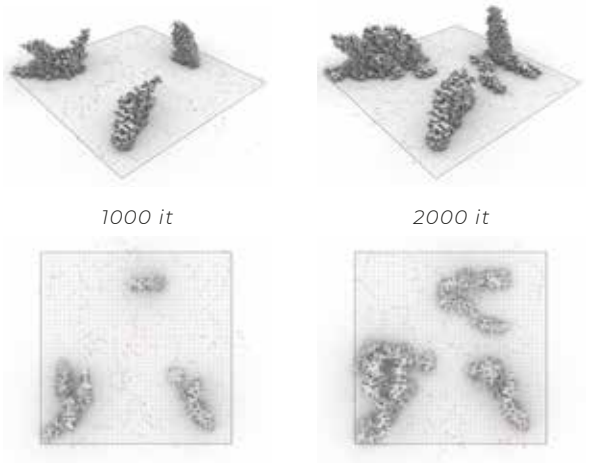
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI



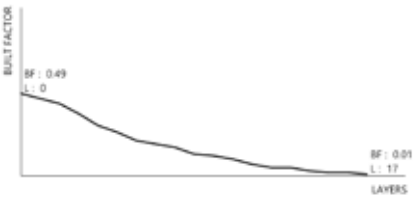
CELL-VISION

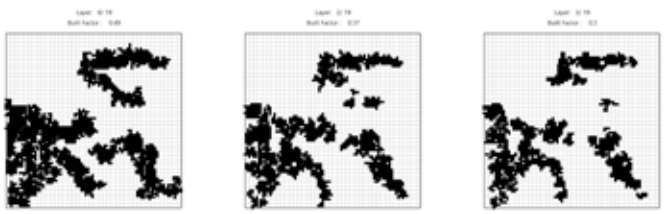
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO





TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

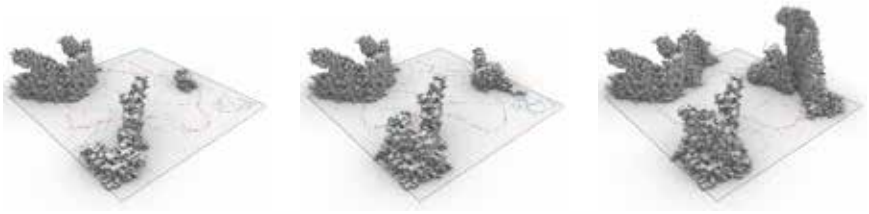




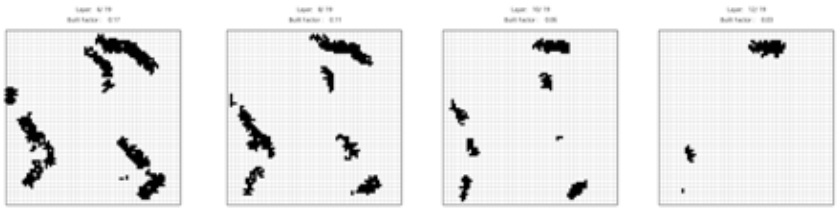
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS

BUILDERS



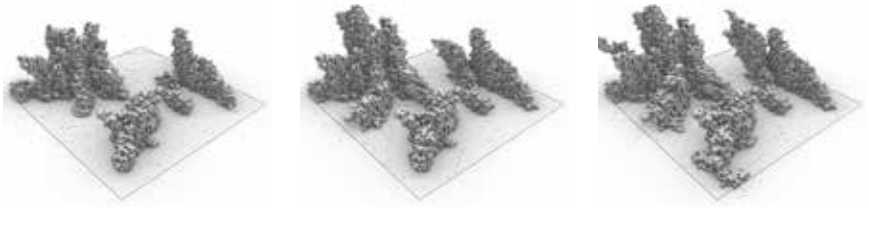
1500 it *2000 it* *2500 it*



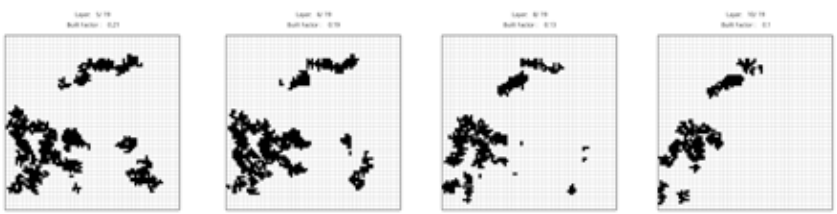
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

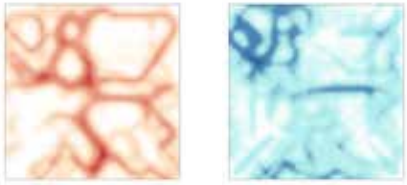
COMPETITORS

BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*



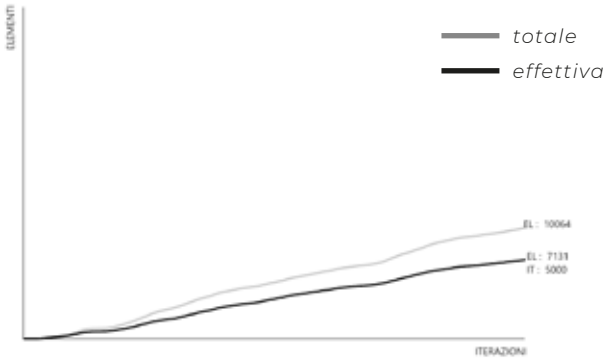


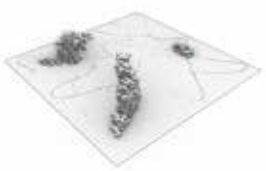
ORDINE C *A1 ↑, EL ↑, A2 ↓*

EMISSIONE LOCALE

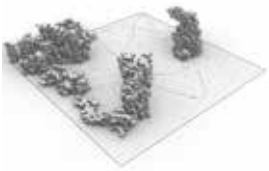
SET-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO



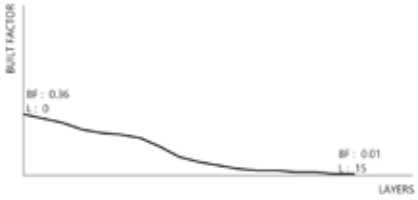


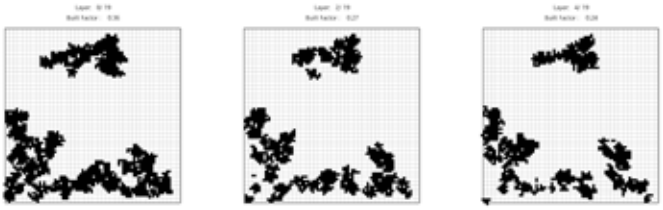
1000 it



2000 it

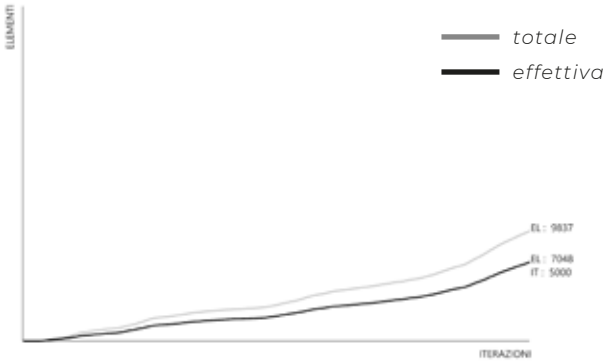
TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

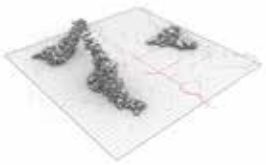




CELL-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

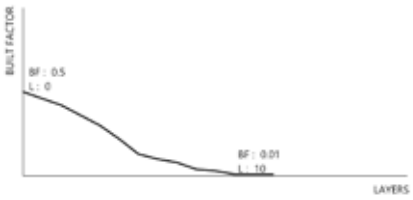


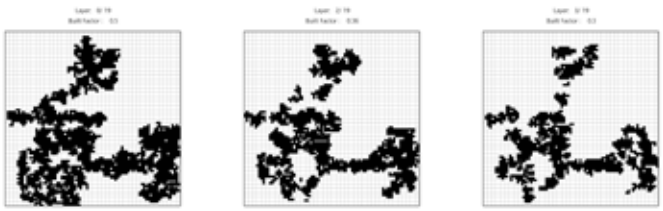


1000 it

2000 it

TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

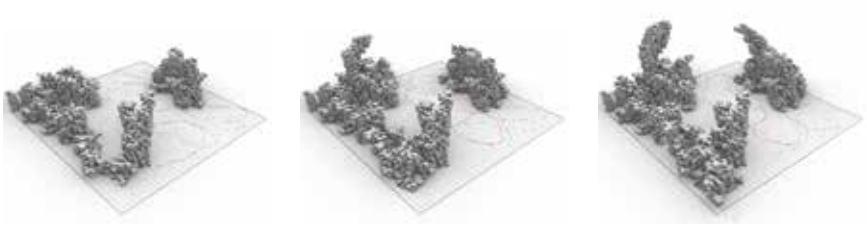




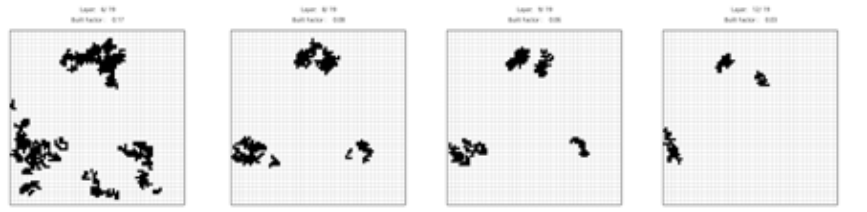
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS

BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*

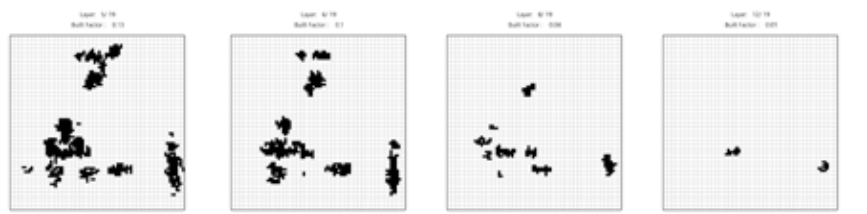


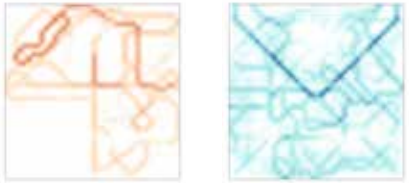
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS

BUILDERS

1500 it *2000 it* *2500 it*



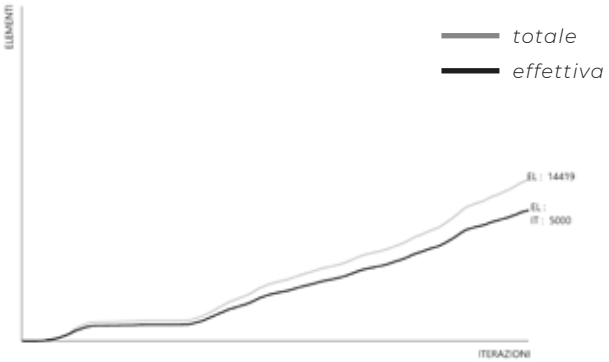


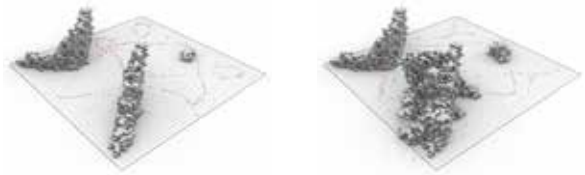
ORDINE C *A1 ↑, EL ↑, A2 ↓*

EMISSIONE DIFFUSA

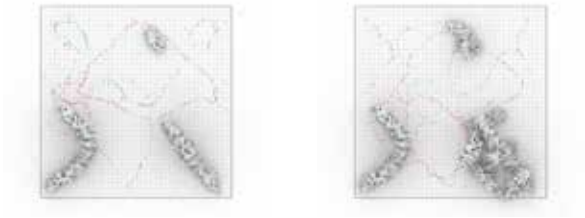
SET-VISION

EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

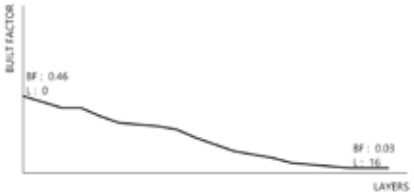




1000 it *2000 it*

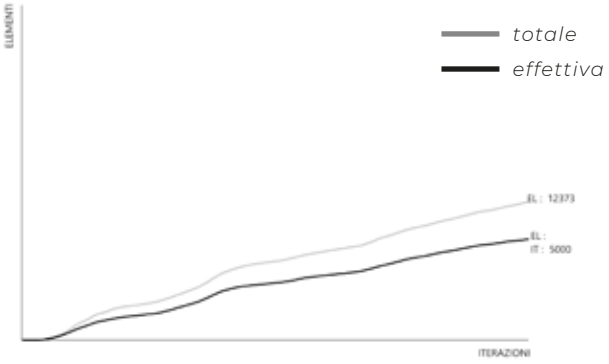


TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

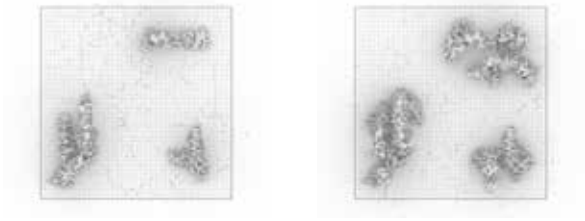


CELL-VISION

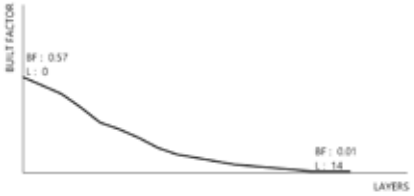
EVOLUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

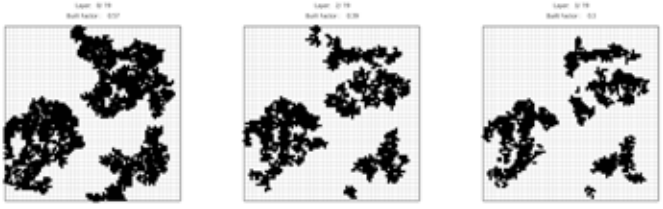


1000 it *2000 it*



TOMOGRAFIE PER LAYERS SUCCESSIVI

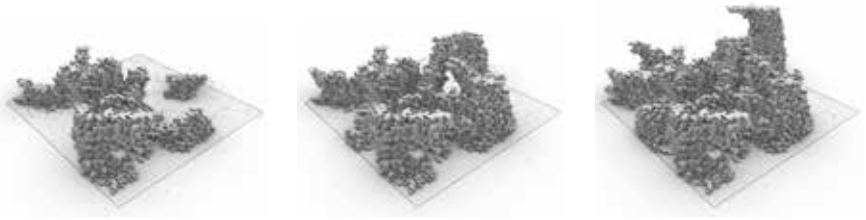




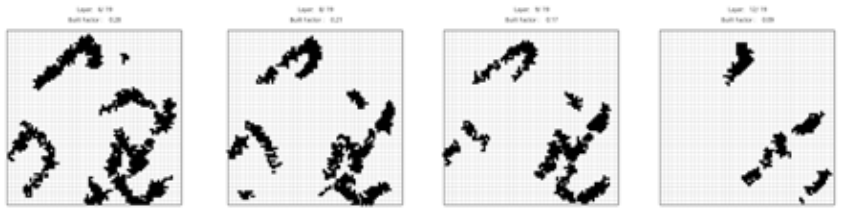
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

COMPETITORS

BUILDERS



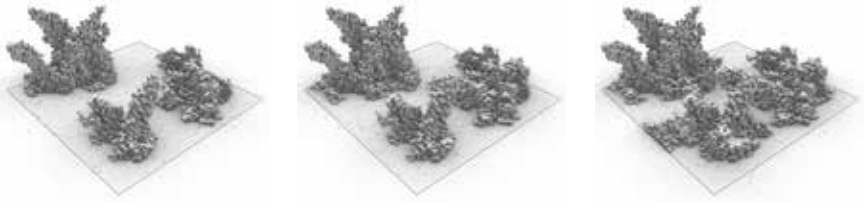
1500 it *2000 it* *2500 it*



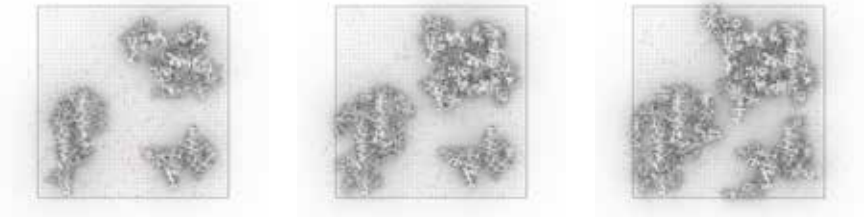
DISTRIBUZIONE TOTALE DEL SEGNALE

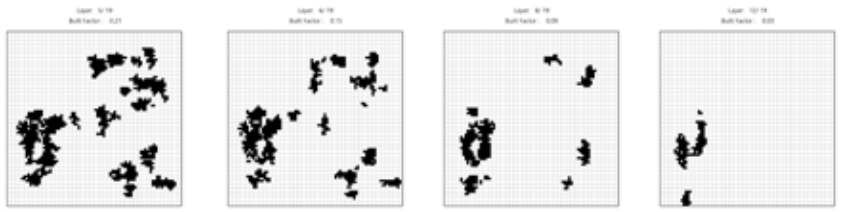
COMPETITORS

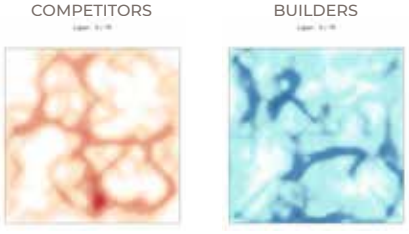
BUILDERS



1500 it *2000 it* *2500 it*



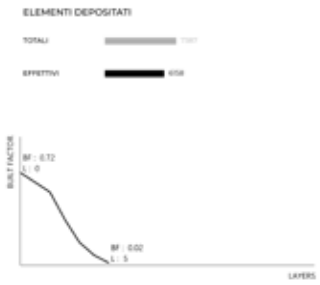


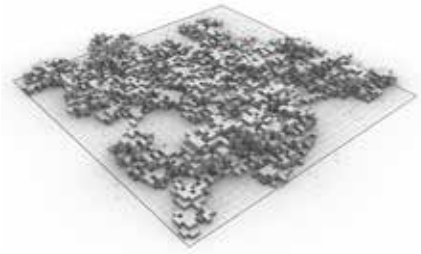


RIEPILOGO - *EMISSIONE LOCALE*

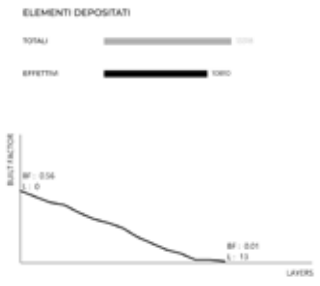
SET-VISION

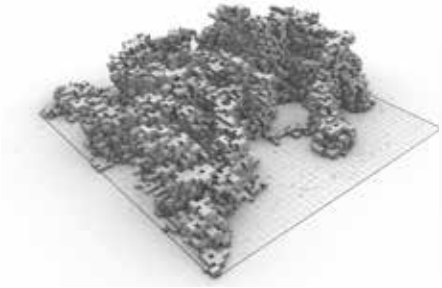
A

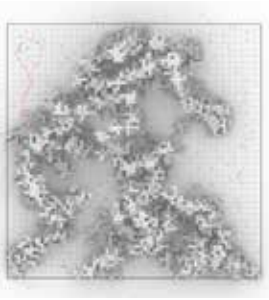




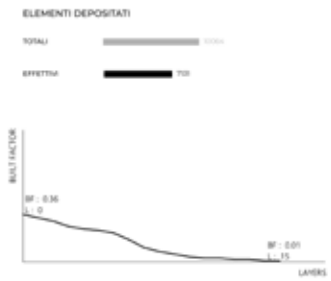
B

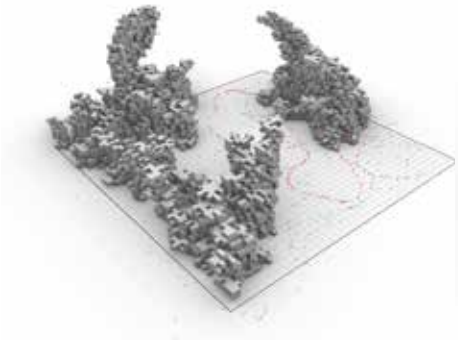






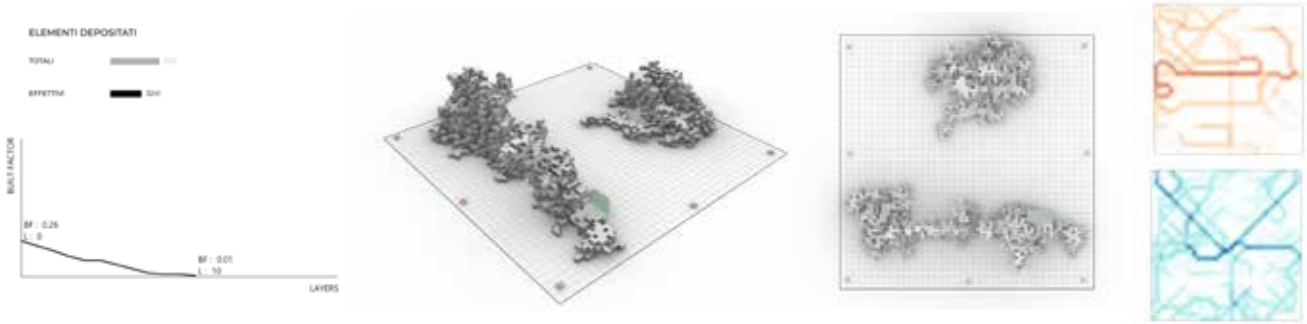
C

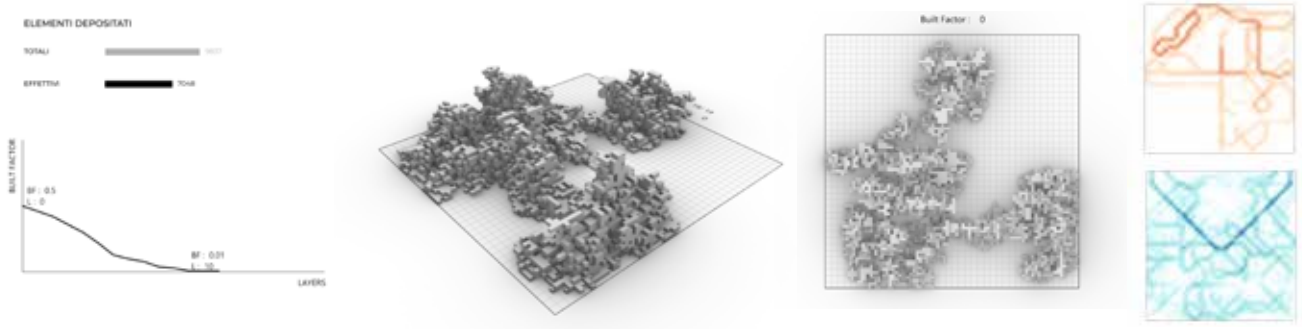




CELL-VISION

ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
BF : 0.77
L : 0
BF : 0.00
L : 5
LAYERS

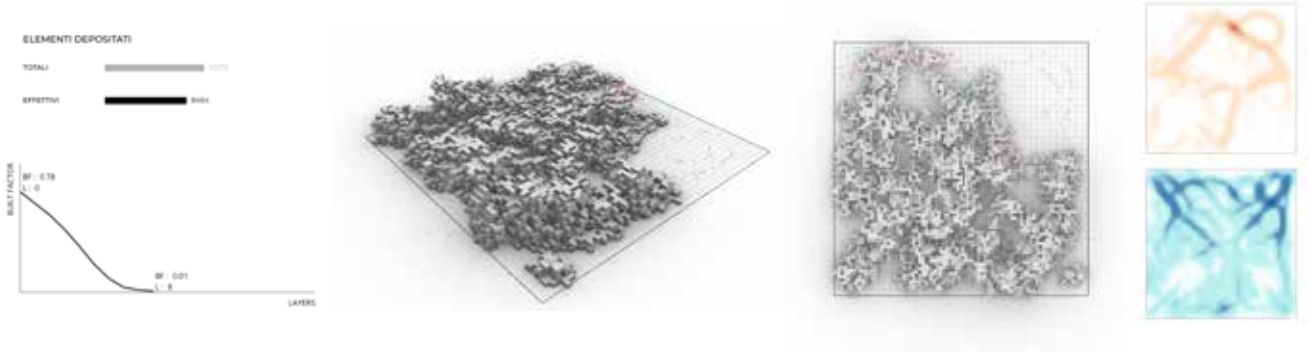

ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
BF : 0.26
L : 0
BF : 0.01
L : 10
LAYERS


ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
BF : 0.5
L : 0
BF : 0.01
LAYERS
Built Factor : 0

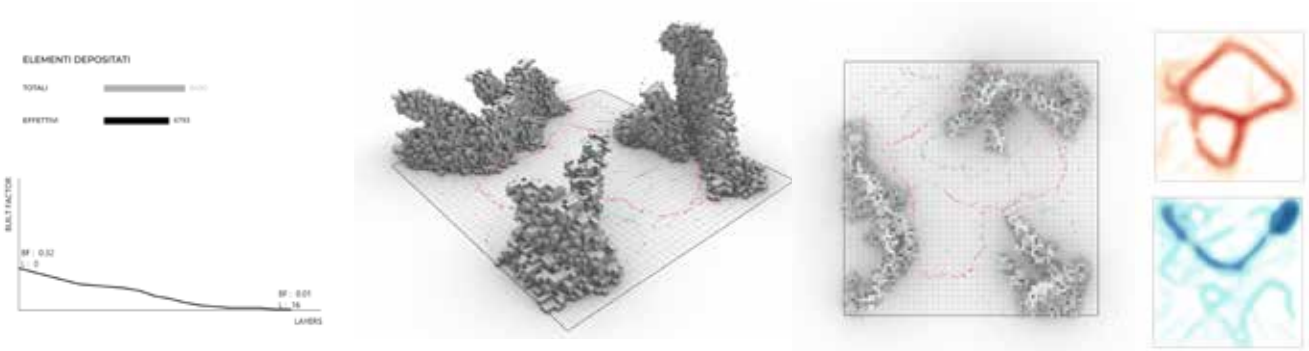
RIEPILOGO - *EMISSIONE DIFFUSA*

SET-VISION

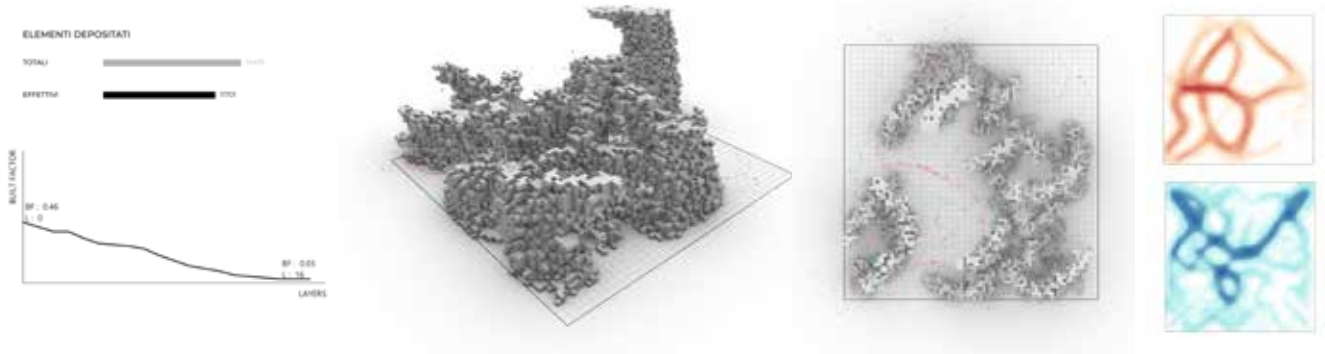
A



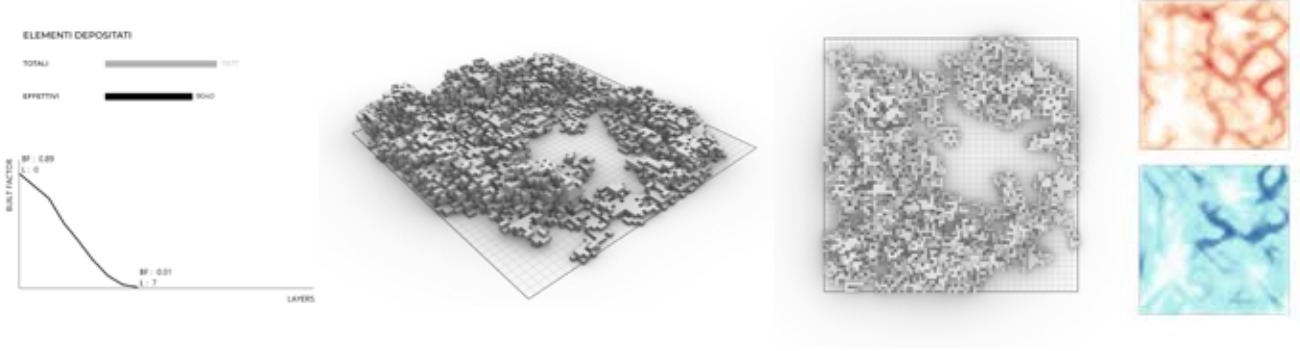
B

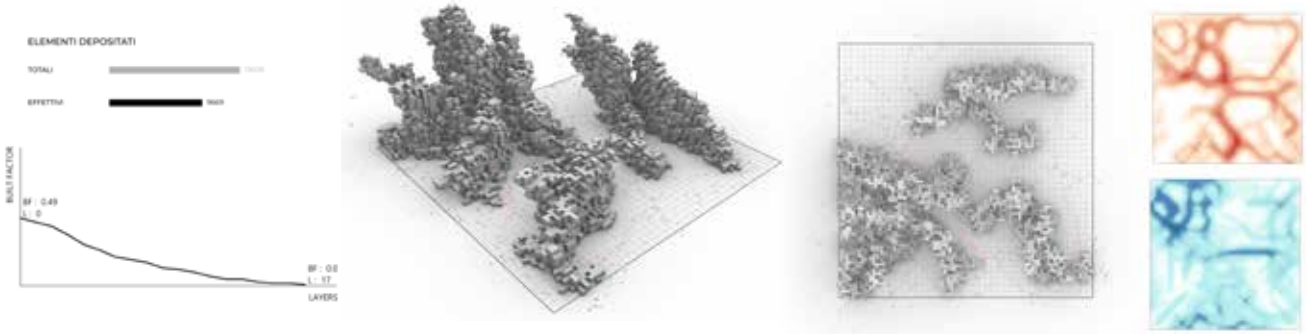


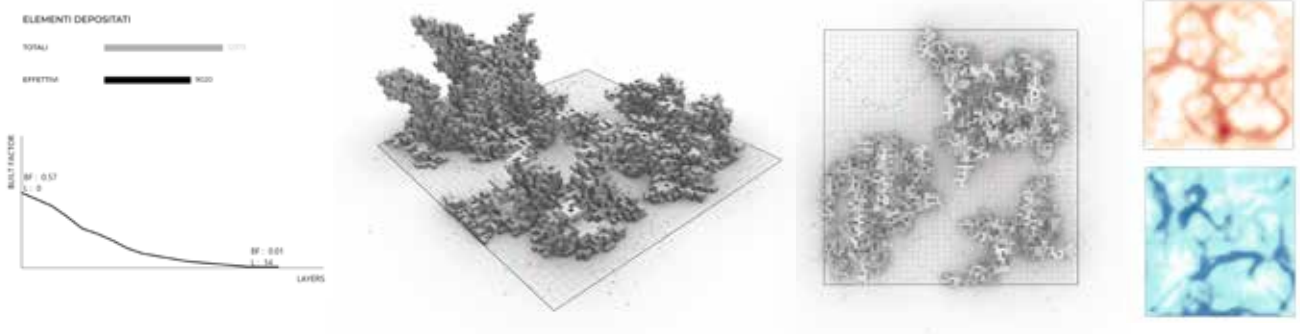
C



CELL-VISION


ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
LAYERS


ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
LAYERS


ELEMENTI DEPOSITATI
TOTALI
EFFETTIVI
BUILT FACTOR
LAYERS

ANALISI CLASSIFICAZIONE

Le molteplici prove effettuate mostrano alcune tendenze prevalenti ma è difficile stabilire con esattezza un comportamento, o meglio quantificare e/o predire il risultato in funzione dei parametri iniziali.
Il sistema produce risultati molto diversi in funzione delle condizioni presenti nel contesto: numero e posizione di punti attrattori e posizione di start degli agenti.

ORDINI

Gli ordini incidono sulla espansione dell'assemblaggio nel piano di navigazione o sulla crescita verticale globale.

L'ordine A genera delle costruzioni molto estese e dense nel piano ma con scarso sviluppo verticale.
Questa tendenza è visibile nei grafici di analisi dei Build Factors: partono da valori molto alti, generalmente ***> 0.7*** e calano rapidamente tendendo a 0 nell'ultimo Layer costruito.

Per quanto riguarda gli ordini B e C, invece, i Built Factors massimi risultano ***< 0,6*** e la curva esprime una tendenza decrescente costante per un numero di layers maggiore

EMISSIONE

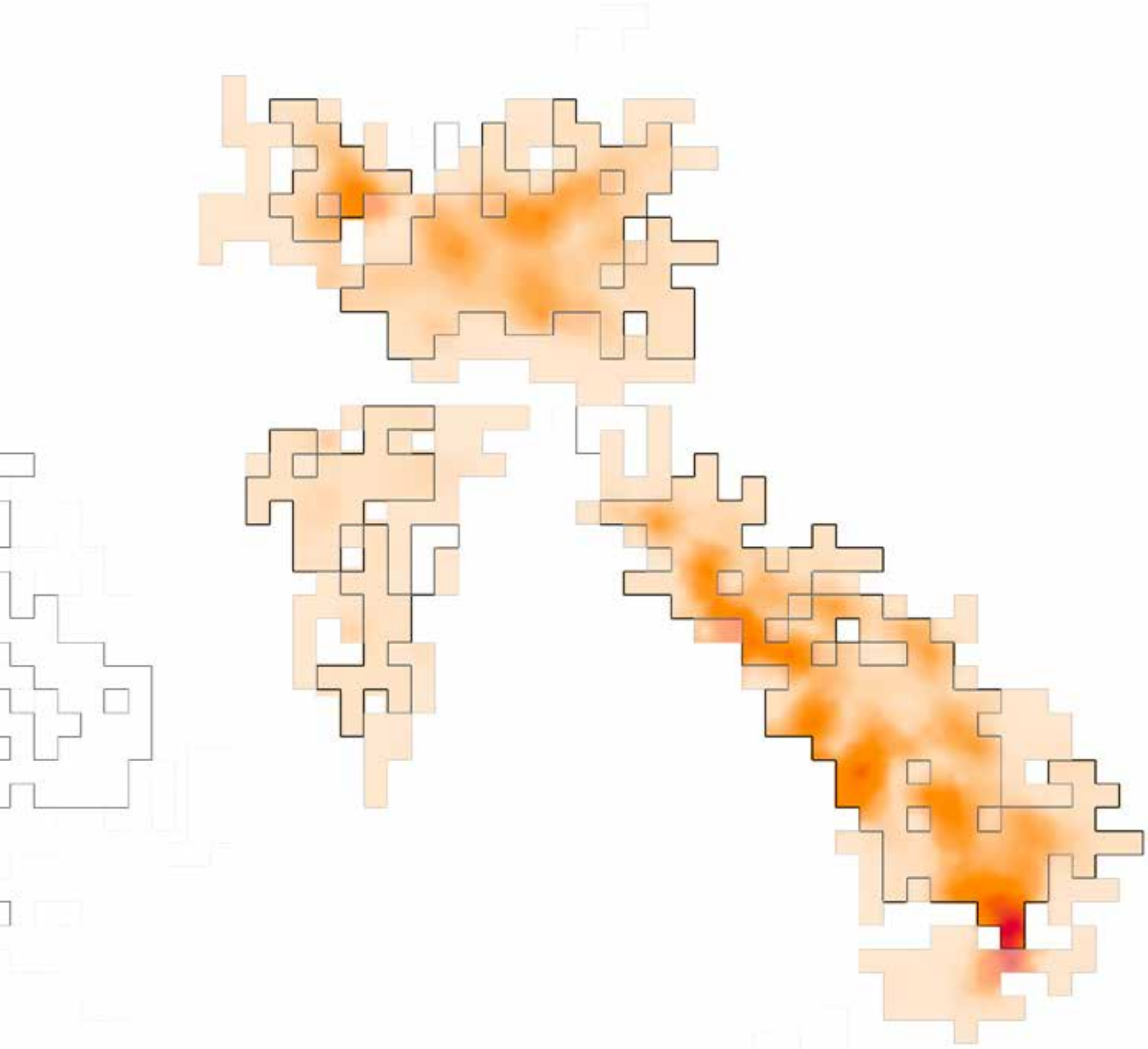
La capacità emissiva degli agenti influenza nella maggior parte dei casi il numero di elementi depositati. Il sistema settato con emissione diffusa è destinato ad avere assemblaggi più numerosi di un sistema a diffusione locale.

VISIONE

Risulta molto più difficile stabilire invece un nesso fra le modalità di visione e gli assemblaggi restituiti. Non emerge una chiaro pattern costruito e descrivibile dalla modifica di questa proprietà. Solo le mappe di distribuzione del segnale danno informazioni diverse relative alla capacità di movimento e stabilizzazione dei percorsi degli Agenti nello spazio. Con la visione ad angolo fisso “set-vision” emergono pattern più robusti e meno variati rispetto all’alternativa “cell-vision”. Questo implica che con il primo metodo la stabilizzazione del sistema avviene prima ed è in un qualche modo garantita.

CONCLUSIONI

E’ difficile eseguire una classificazione completa dei risultati. Non esiste una combinazione da scartare a priori e, per esigenze di tempo, non essendo in grado di produrre molte più prove variando le condizioni al contorno, si può affermare che questi set di parametri possono essere usati in base allo scopo architettonico che si vuole raggiungere.



3 | SPECULAZIONE ARCHITETTONICA
TRADUZIONE DELLE UNITÀ SPAZIALI

L'inizio della ricerca si era focalizzato sullo sviluppo di un processo di costruzione ed assemblaggio alla scala dell'elemento architettonico ma l'evoluzione del processo ha mostrato potenzialità del sistema applicabili ad una scala maggiore. Le esplorazioni compiute con il sistema rappresentano la crescita di un organismo architettonico esteso sul territorio, nel quale l'occupazione dello spazio è costantemente negoziata dalle interazioni locali fra gli agenti, gli input progettuali ed le informazioni del contesto.

Si riportano di seguito alcuni esempi di studi condotti dall'inizio del secolo scorso, sull'organizzazione degli assemblaggi architettonici a scala urbana.

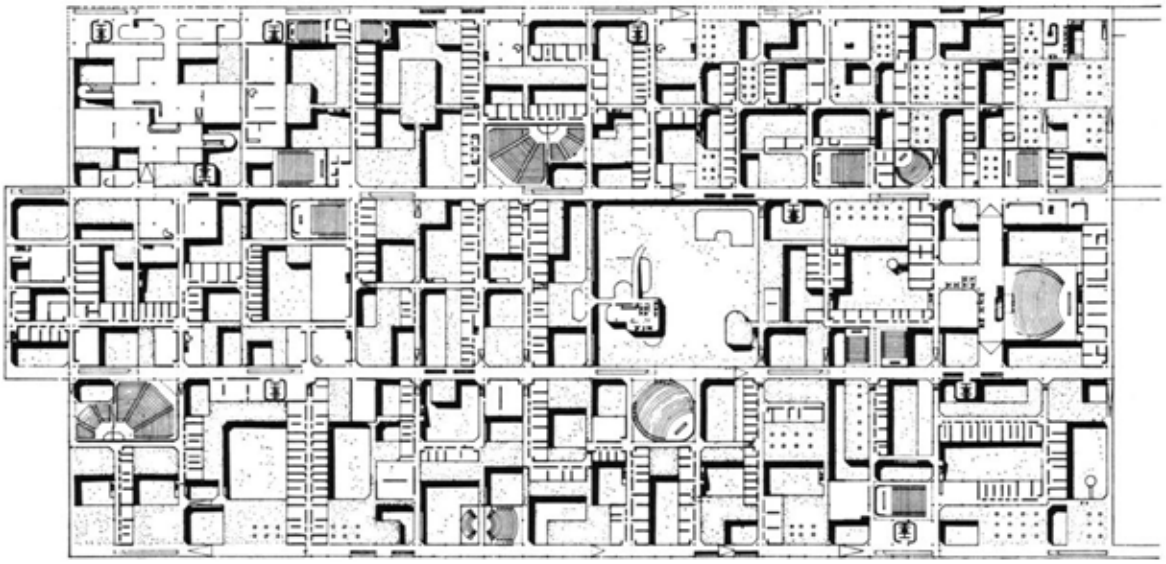
Hochhausstadt (High Rise City) - L.Hilberseimer, 1924

La città e la sua organizzazione furono temi centrali dello studio di Ludwig Hilberseimer che lo declinò ponendo attenzione alle relazioni ***fra gli elementi della città e la città stessa***.

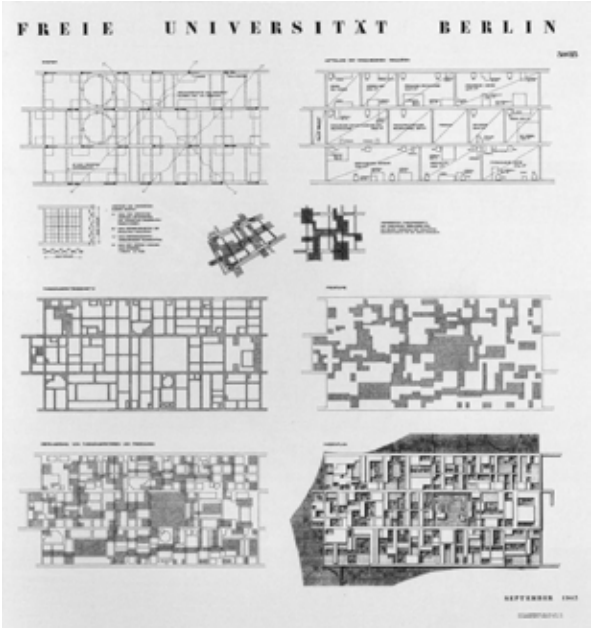
La sua proposta di "Città verticale" individua grandi blocchi progettati come ***unità del sistema*** centrale organizzati in verticale: ai livelli inferiori i luoghi di lavoro rappresentati con facciate ad aperture orizzontali ed ai livelli superiori quelli privati indicati con forature puntuali.

La sua proposta non va vista nella sua rappresentazione estetica figurativa ma nella moltitudine di configurazioni possibili degli elementi che formano le unità (Köhler, 2017).

Ludwig Hilberseimer, schema of the Vertical City, top: architectural representation of one city-block with loggias, bottom: six exemplary apartment units, Large City Architecture (Köhler, 2017)



Plan of the Free University of Berlin (Candilis, Josic, Woods and Schiedhelm – 1963, Architectural association, London).



Qualche decennio più tardi, il progetto della “Free University of Berlin” si poneva lo scopo di trasformare un campus universitario in una città profondamente interconnessa con strade, piazze, cortili e passaggi, basandosi sul modello della Medina araba.

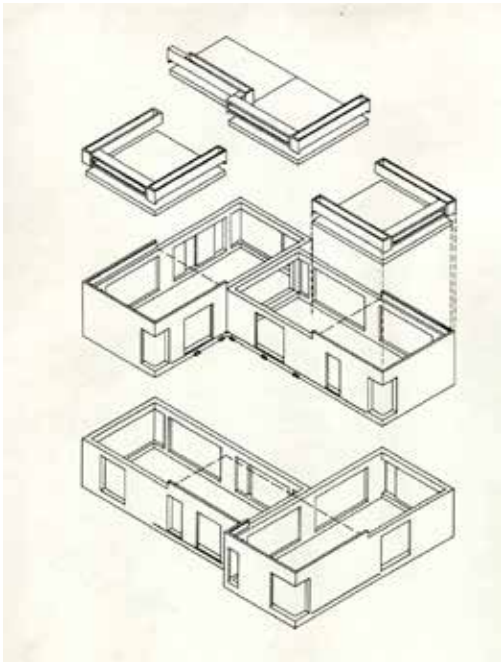
L’articolazione di elementi spaziali e costruttivi organizzati sempre in maniere differenti produssero un’incredibile varietà di ambienti in un sistema modulare.

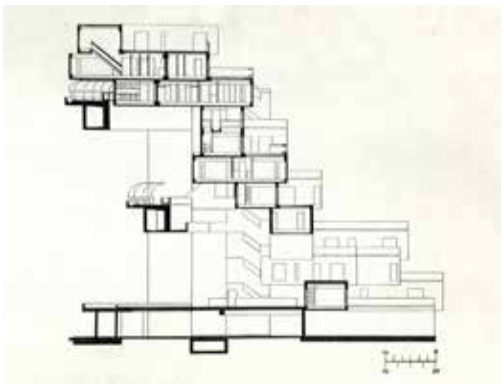
Il concetto dietro la proposta era un radicale ripensamento del modello educativo ponendo attenzione alla flessibilità ed volubilità dello spazio come la traduzione spaziale di un educazione orizzontale fra studenti e insegnanti. Classi, dipartimenti e servizi erano ***decentralizzati e distribuiti su una griglia senza organizzazione gerarchica [12].***

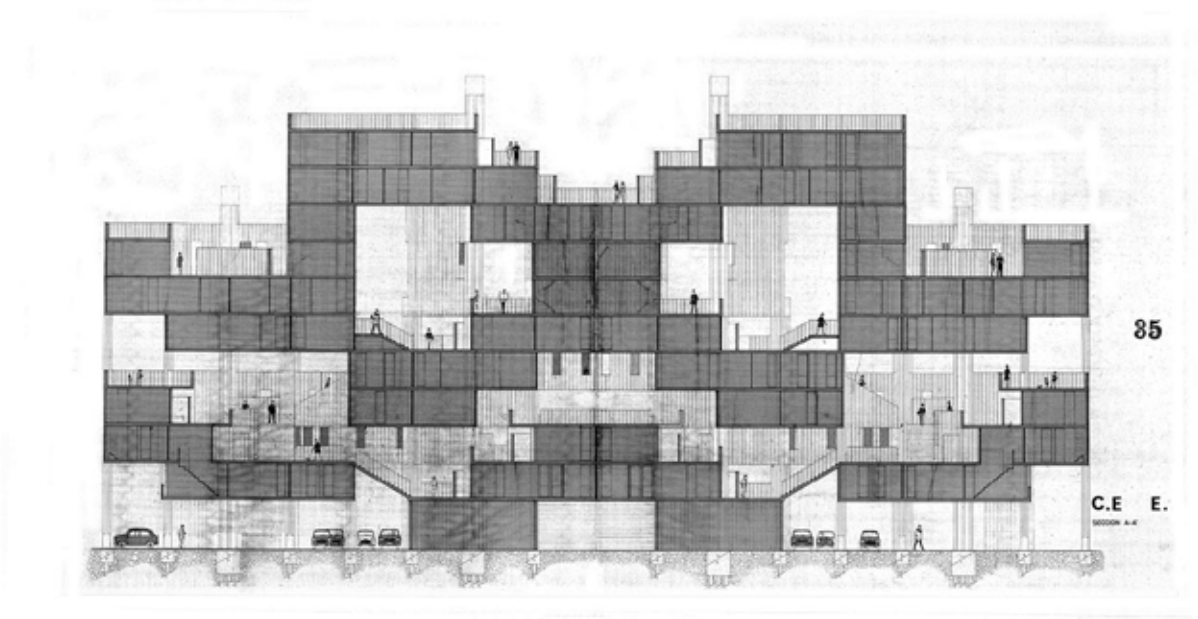
Il padiglione Canadese per l'Esposizione Universale del 1967, denominato Habitat 67 fu originariamente pensato da Moshe Safdie come una soluzione sperimentale per fornire un'alta qualità abitativa per un ambiente urbano densamente popolato. L'uso di unità prefabbricate avrebbe ridotto il costo di produzione in un ottica di industrializzazione del processo. Il complesso fu costruito con 354 moduli prefabbricati posizionati in composizioni differenti collegati da ponti e strade pedonali.

Safdie riuscì a ***rompere lo schema ortogonale della costruzione in verticale*** usando i "box" e, arretrandoli l'uno dall'altro di qualche metro, donò ad ogni unità la *possibilità di un giardino, un flusso costante di aria ed il massimo apporto di luce naturale* [13].

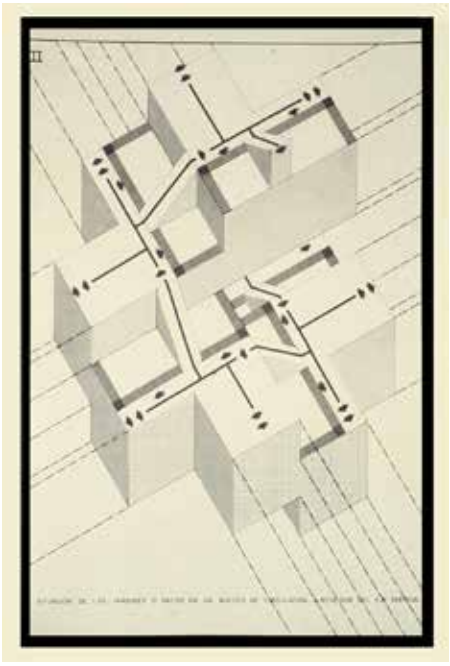
Moshe Safdie, Habitat 67, Fotografia e disegni progettuali (Candian Architecture Collection, McGill University)

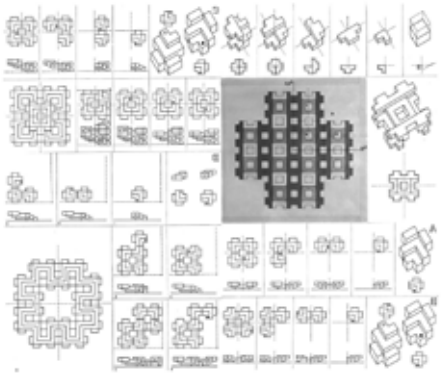






Ricardo Bofill and Taller de Arcquitectura, La Ciudad en el Espacio (The City in the Space, ricardobofill.com).



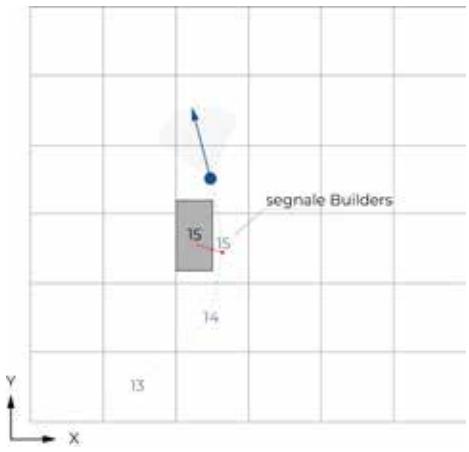


Ricardo Bofill nel 1970 lavorò sul progetto di un enorme complesso abitativo che potesse stimolare la riflessione sull'organizzazione urbana dell'abitare[1]. Sviluppò un sistema di crescita adattabile al progressivo aumento della popolazione basato sulla composizione geometrica di volumi cubici che avrebbe garantito una diversità di soluzioni.

Il complesso avrebbe ospitato su ogni livello funzioni miste pubbliche e private oltre a strade e/o piazze andando a ***sfumare i contorni di definizione tra edificio e città [14].***

DATA STORAGE

Lo sguardo della speculazione architettonica si sposta quindi verso lo studio di un complesso di elementi che possano rimodulare la definizione di “città”.
Si pone attenzione non tanto alla sua organizzazione cartesiana di divisione dello spazio pubblico e privato e delle vie di comunicazione, ma nella comprensione di come questa possa evolvere con logiche di assemblaggio di unità semplici la cui connettività fornisca configurazioni a topologia distribuita.



Emissione locale , deposizione e raccolta dei dati

RACCOLTA DEI DATI

Una volta stabilizzato il sistema di generazione, era necessario trovare una forma di traduzione degli assemblaggi concettuali in unità spaziali definite. Per fare ciò si è pensato di utilizzare i dati rilasciati nell’ambiente, *relativi al processo di generazione*, come riferimento qualitativo per la definizione di partizioni architettoniche.

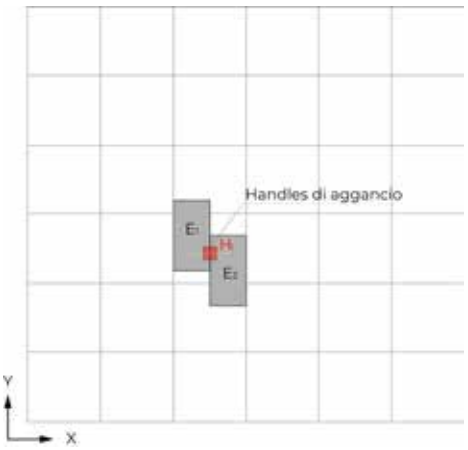
Esempio di assemblaggio e distribuzione del segnale

Vista prospettica di un assemblaggio più esteso

L’ambiente contiene tutte le tipologie di segnale degli Agenti del processo, e questi possono essere letti non solo dagli Agenti “navigatori” (Builders&Competitors) ma anche dagli ***Elementi*** stessi depositati. A questi viene data quindi la capacità di ***memorizzare la quantità di segnale*** al momento della propria deposizione nello spazio. Il segnale a cui ci si riferisce è quello relativo agli Agenti costruttori.

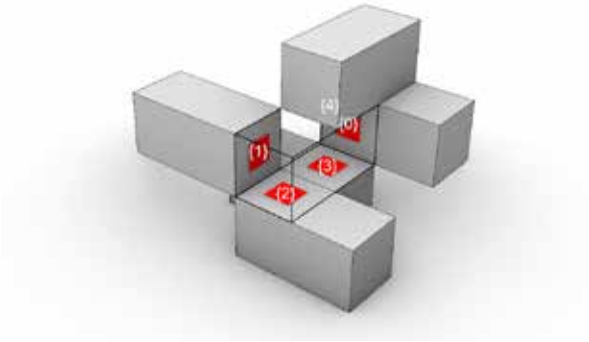
min *max*

Segnale memorizzato

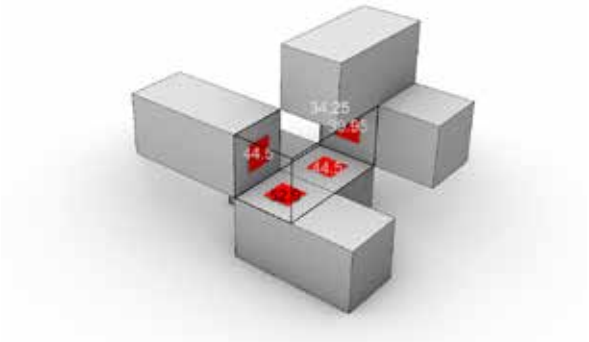


Aggancio e trasmissione dei dati

Segnale locale e dei vicini collegati



Indice delle Handles di connessione



Calcolo dei valore HV_i delle Handles

L'assemblaggio assume così la funzione di ***memoria storica del processo***: analizzando la quantità di segnale contenuta negli elementi si può comprendere come il sistema stesse lavorando in quel momento.

COMUNICAZIONE INTERNA

Il dato contenuto nell'Elemento non bastava a potere determinare una progettazione dell'unità spaziale, era necessario avere *molteplici dati da poter tradurre in partizioni*.

Per potere risolvere questo problema sono state sfruttate le ***Handles***, come punti *non solo di aggancio e coerenza geometrica dell'assemblaggio* ma come mezzo di ***comunicazione delle informazioni.***

Nel momento in cui avviene con successo l'assemblaggio fra due elementi, questi possono scambiarsi informazioni relative al proprio segnale memorizzato. Le Handles assumono quindi la funzione di vettore dei dati e salveranno localmente anche loro un valore.

Definiti i segnali degli ***Elementi connessi (E_1 ed E_2)*** dalla ***Handle H_i***, il valore ***HV_i*** ad essa assegnata sarà corrispondente alla media dei segnali contenuti nelle unità di appartenenza.

$$HV_i = (E_1 + E_2) / 2$$

Procedendo così, ad ogni connessione successiva, il segnale c viene distribuito nelle connessioni degli assemblaggi locali.

PARTIZIONI ARCHITETONICHE

La progettazione delle partizioni avviene nel piano delle Handles.
Viene assegnando un peso (weight - ***W***) alla partizione con *valore crescente in funzione della permeabilità dell'elemento*. La traduzione del dato geometrico avviene mettendo in relazione il peso W con il valore della Handle selezionata.

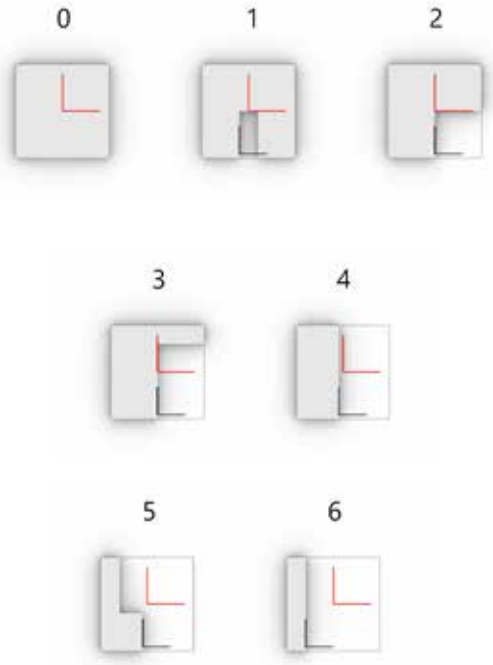
INTERNE (INT)

Le Handles di interfaccia con gli altri Elementi sono tradotte con partizioni che in maniera diagrammatica rappresentano elementi di divisione interna dello spazio e/o di passaggio.
Per fornire il peso W alla partizione è necessario rimappare i valori delle Handle sul nuovo dominio, ovvero il numero di partizioni.

$$IR = H_{max} / N$$
$$W_i = HV_i / IR$$

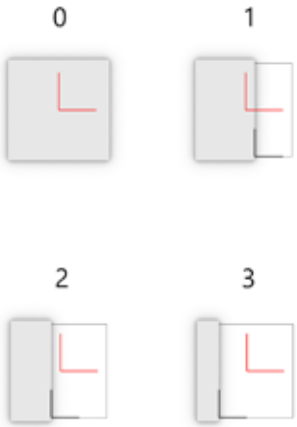
IR *= Intervallo di remapping.*
H_{max} *= Valore massimo delle Handles nell'assemblaggio.*
N *= Numero di partizioni progettate.*
W_i *= Peso da assegnare alla partizione*
HV_i *= Valore della Handle selezionata*

Le partizioni vengono dotate di un ***piano di orientamento*** (in rosso nelle figure) con che serve per traslarle al posto delle Handles nel sistema digitale e di conseguenza orientarle.



Partizioni interne - INT con relativo peso W,piani di orientamento e piani dei vuoti.

Una volta posizionata nel piano della Handle, la partizione viene orientata secondo la direzione dell'Elemento a cui appartiene.
Essendo una partizione di interfaccia, viene selezionata la direzione dell'***Elemento con segnale maggiore.***
Per un successivo sviluppo, è inserito anche un piano che individua il confine tra parte piena e vuota. Questo viene definito ***piano del vuoto***.



Partizioni esterne -EXT (sopra)

Tassellazioni di Truchet

ESTERNE (EXT)

Le partizioni esterne seguono lo stesso principio di traduzione ma il peso viene assegnato usando il segnale dell'Elemento di riferimento, essendo le Handles esterne prive di valore assegnato.
L'orientamento invece segue la direzione dell'Elemento.

$$\boldsymbol{IR} = E_{max} / N$$
$$\boldsymbol{W_i} = EV_i / IR$$

IR *= Intervallo di remapping.*

$\boldsymbol{E_{max}}$ *= Segnale massimo contenuto dagli elementi nell'assemblaggio.*

N *= Numero di partizioni progettate.*

$\boldsymbol{W_i}$ *= Peso da assegnare alla partizione*

$\boldsymbol{EV_i}$ *= Segnale dell'Elemento di riferimento*

Per *evitare una pannellizzazione molto omogenea* viene introdotta una variabile randomica di rotazione della partizione in relazione all'indice di appartenenza. Questo produrrà un effetto di tasselazione simile agli esperimenti di Truchet[15], utilizzando però un elemento rettangolare.

ORIZZONTALI (HOR)

Le ultime partizioni, quelle orizzontali sono semplicemente di 2 tipologie: chiuse (solai) o vuote (ospitanti i collegamenti verticali).

Per l'assegnazione del peso, si utilizza il criterio di remapping del valore delle Handles ma viene introdotta una soglia minima, impostata al 65% del valore max per evitare di avere troppi possibili collegamenti.

$$IR = H_{max} / N$$
$$W_i = HV_i / IR$$

IR *= Intervallo di remapping.*

H_{max} *= Valore massimo delle Handles nell'assemblaggio.*

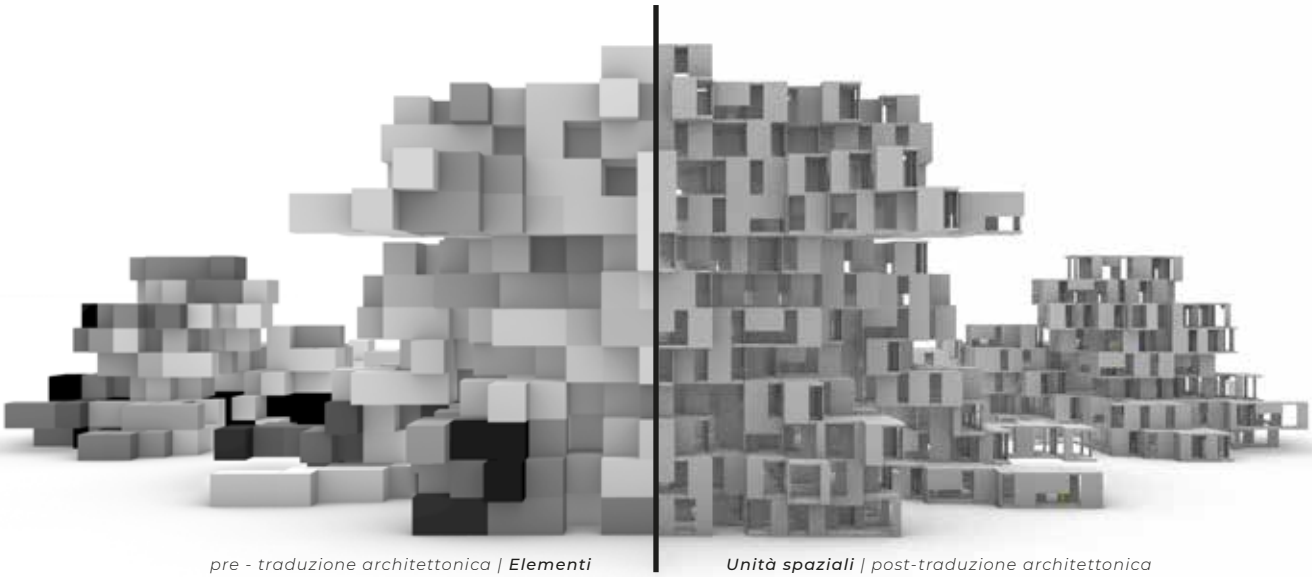
N *= Numero di partizioni progettate.*

W_i *= Peso da assegnare alla partizione, =* ***1 se*** $HV_i > 0.65\ H_{max}$

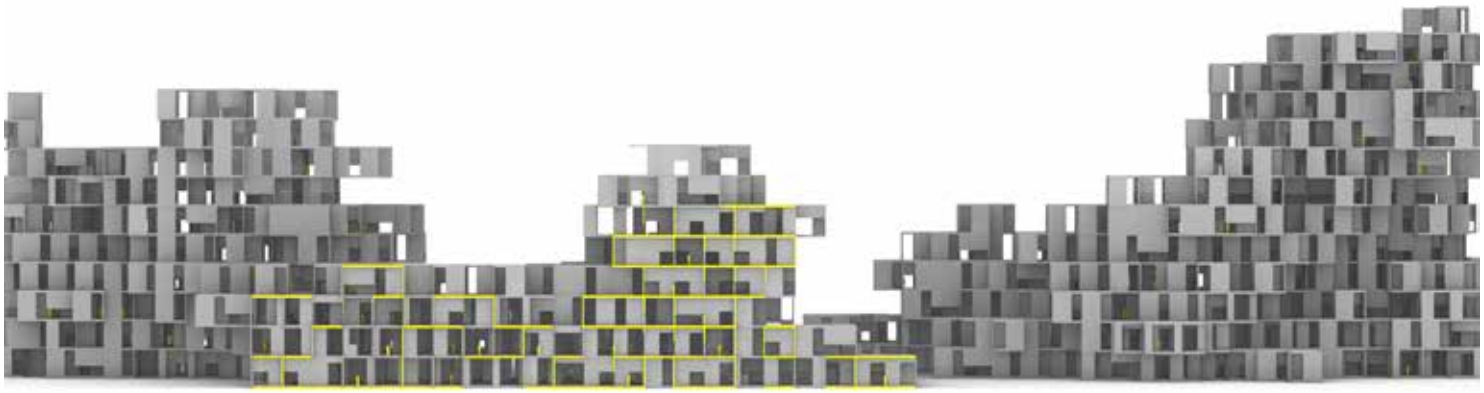
HV_i *= Valore della Handle selezionata*

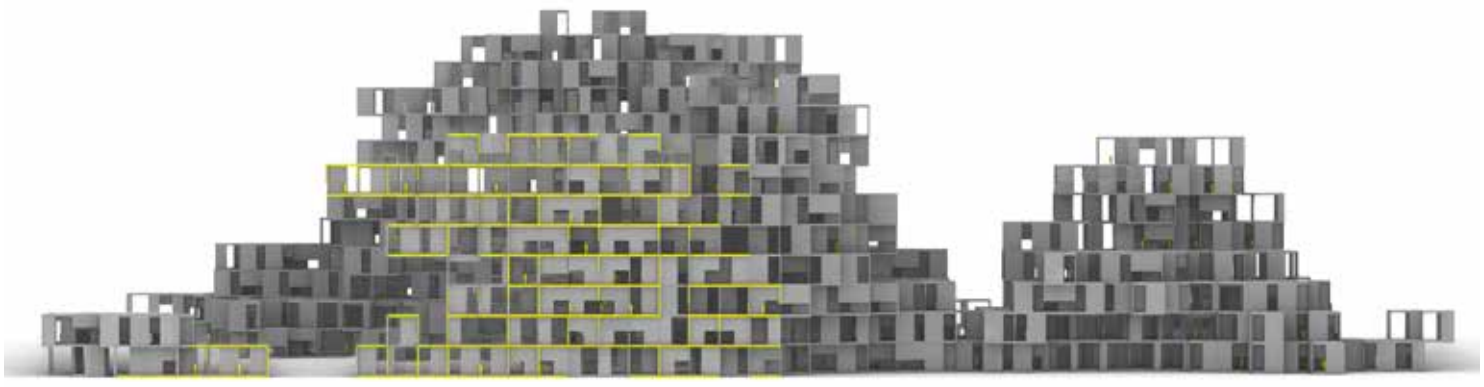
Il piano di orientamento serve solo come riferimento per il posizionamento nello spazio.

Partizioni orizzontali - HOR



pre - traduzione architettonica | ***Elementi*** ***Unità spaziali*** *| post-traduzione architettonica*





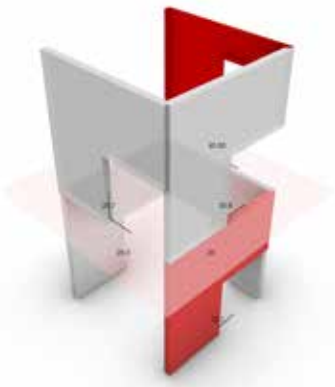
CONNESSIONI VERTICALI - LINKS

Una volta definite le partizioni orizzontali, è possibile stabilire dove inserire le ***connessioni verticali o Links*** per determinare la connettività globale o ***topologia dell'assemblaggio***.

PROGETTAZIONE

Per effettuare la connessione si è ricorsi alla pianificazione di collegamenti verticali (rampe di scale) che tenessero conto della distribuzione delle ***priorità distributive*** delle partizioni.
Analizzati i segnali ivi contenuti il vengono scelte come ***partenza ed arrivo i punti con valore maggiore,*** dando quindi precedenza a quelle zone più permeabili al passaggio.
Come riferimenti nello spazio vengono utilizzati i ***piani dei vuoti*** delle partizioni interne che forniscono orientamento della rampa (la normale al piano) ed informazioni sulla larghezza disponibile per il passaggio.
Le rampe e pianerottoli vengono creati utilizzato un algoritmo di adattamento e rilassamento delle guide delle rampe che cerca di rispettare ***larghezza ed altezza minima*** in funzione della configurazione trovata.

Nei casi in cui il collegamento presenti pendenze elevate, viene eliminato e la partizione viene chiusa.

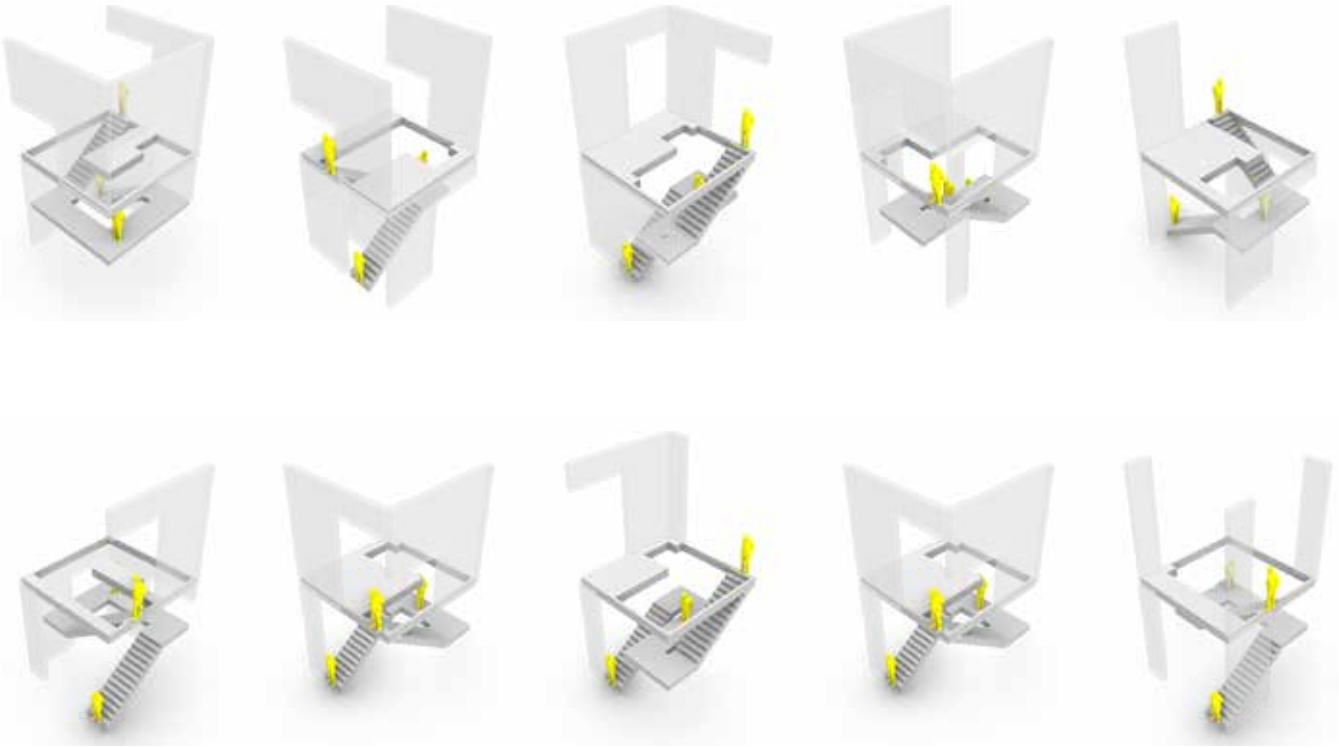


Selezione delle partizioni con segnale maggiore

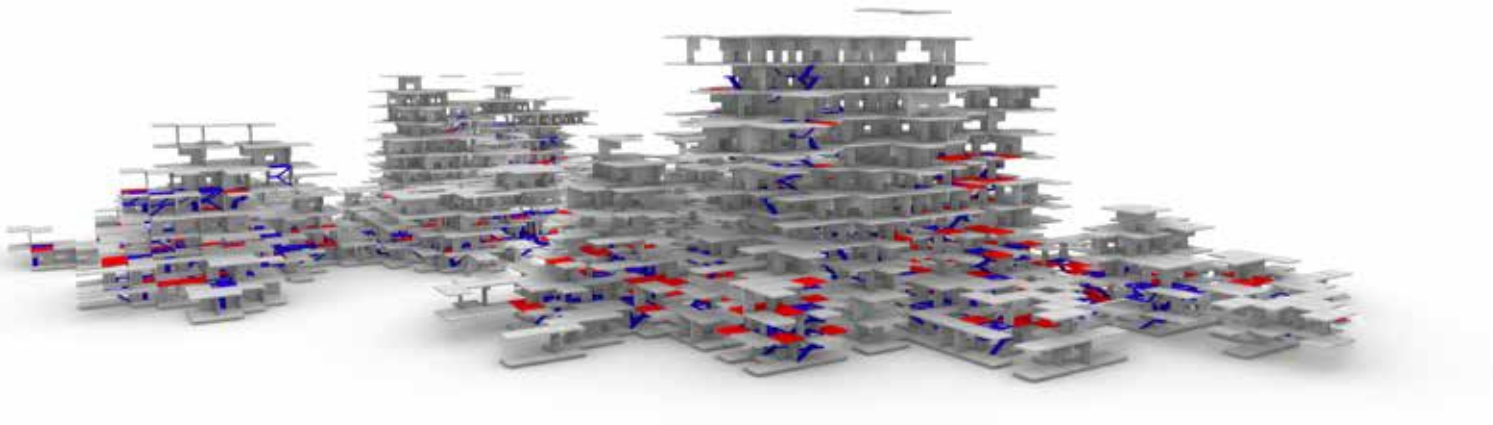
Costruzione del collegamento

Dimensioni rampa:
H_{min} = 240 cm
L_{min} = 120 cm

Dimensioni gradini:
N = 14
A = 17.8 cm
P = 28 cm



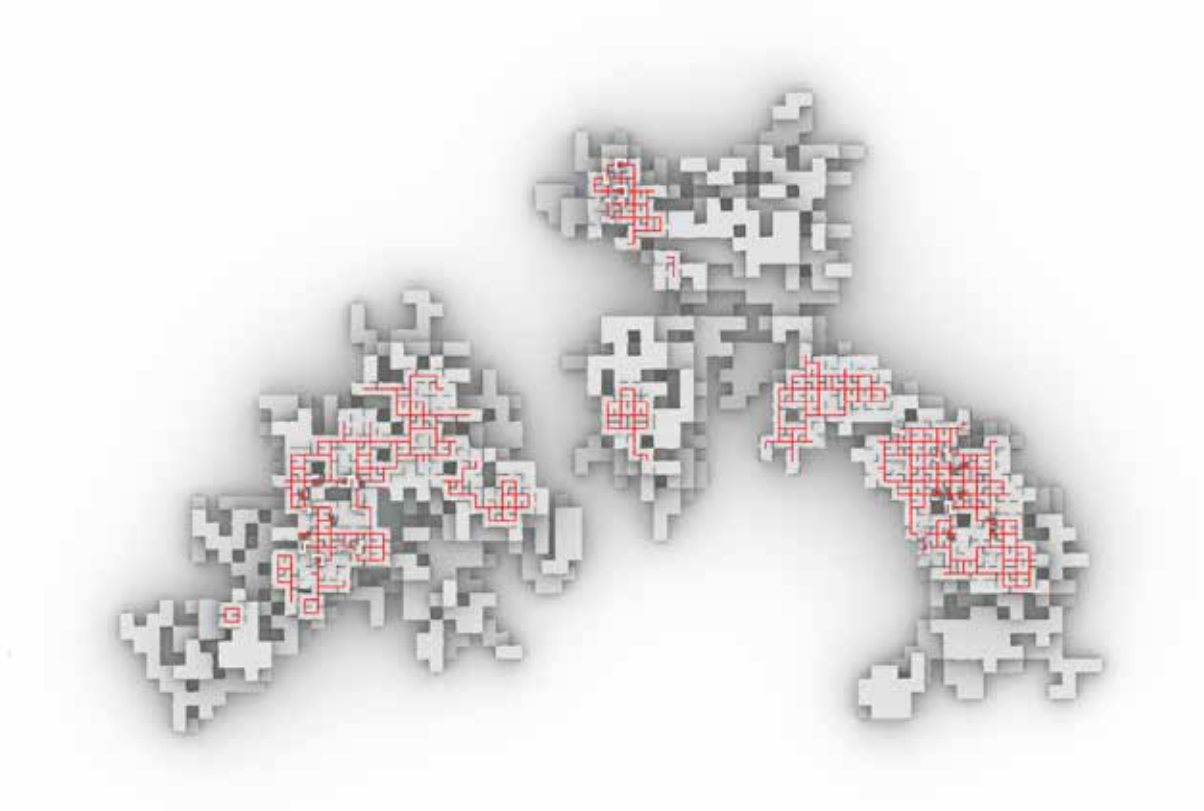
Alcuni esempi di collegamenti prodotti



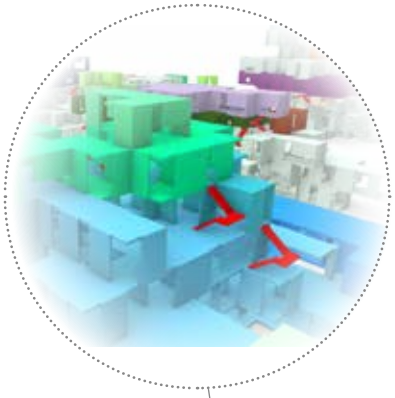
Vista prospettica delle parti interne dell'assemblaggio: partizioni orizzontali ed interne.
In rosso vengono evidenziati le partizioni richiuse (Links eliminati), in blu i Links effettivi.

CLUSTERS

Gli assemblaggi sono così connessi internamente attraverso i Links verticali ed è ora possibile determinare quante e quali Unità sono connesse fra loro.
Le Unità corrispondono alla traduzione degli elementi in partizioni, ed è quindi possibili collegare quelle che possiedono partizioni interne comuni con valore > 0.
Si costruisce così un grafo geometrico delle connessioni per stabilire successivamente il sistema di Clusters.



Determinati i sistemi di unità connesse è necessario prevedere dei collegamenti anche intra-clusters per permettere una percorribilità completa dell'assemblaggio. Vengono dunque progettati con gli stessi criteri illustrati precedentemente, dei Links verticali esterni fra clusters differenti non collegati.

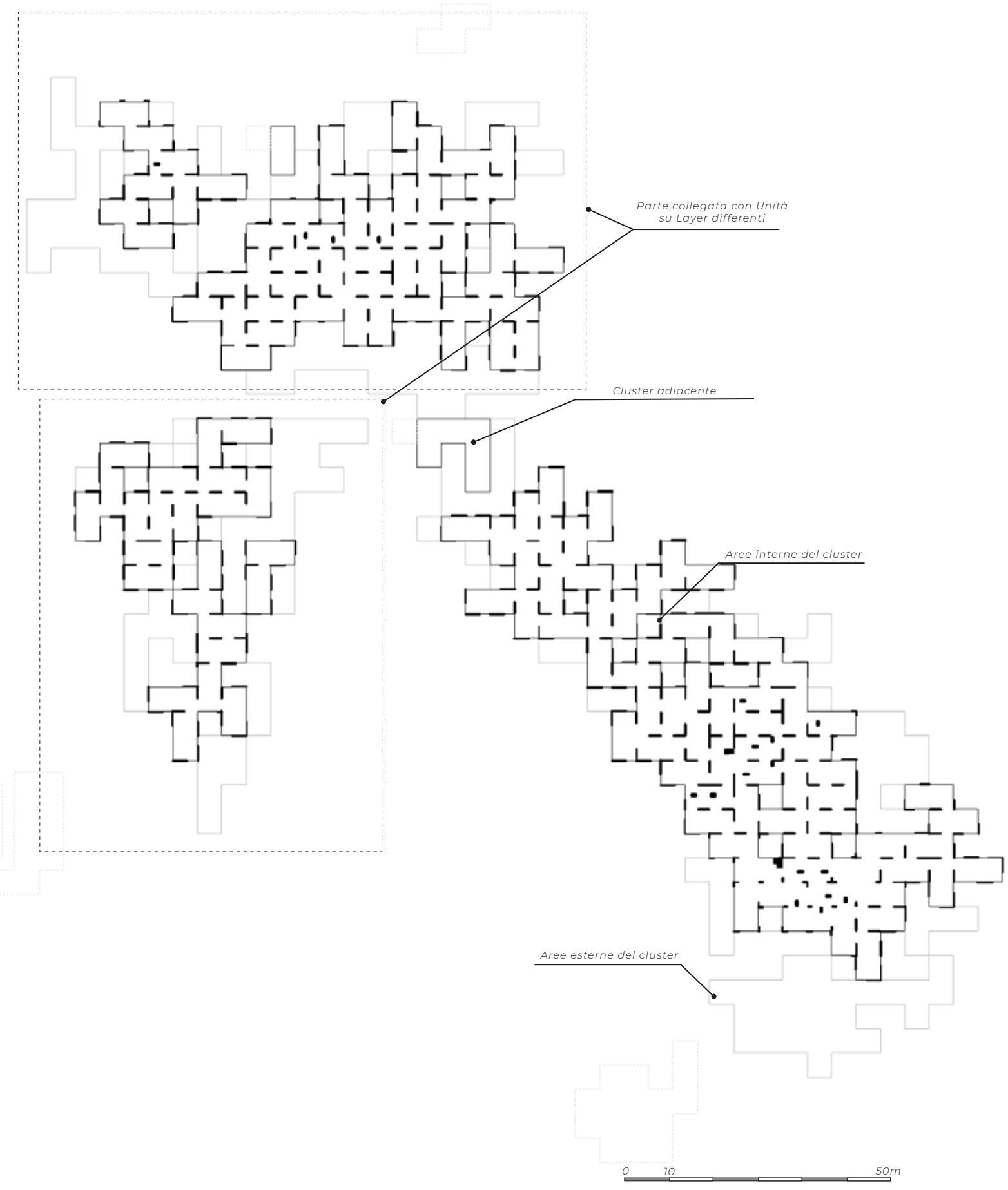


ANALISI ASSEMBLAGGI

Assemblaggio con 710 unità distribuite su 18 Layers e 60 Clusters

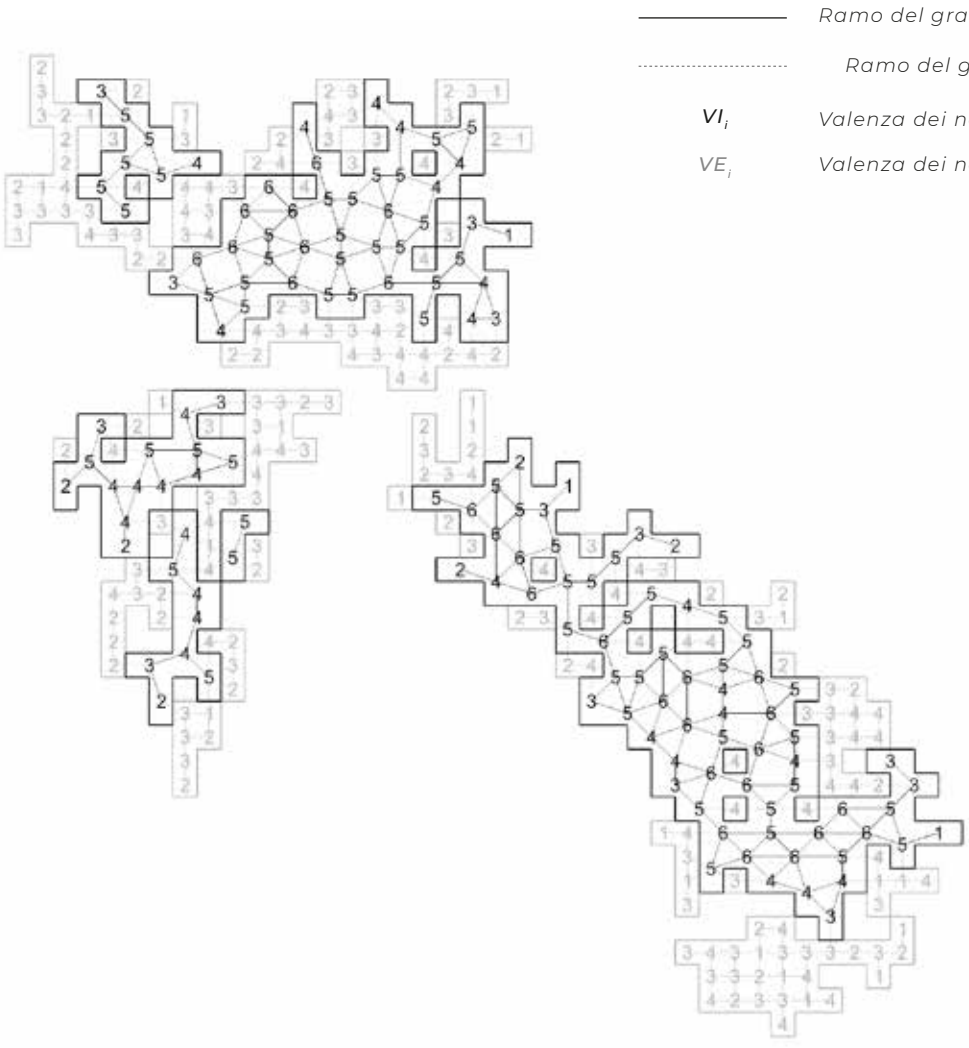
Per poter comprendere lo spazio generato all'interno degli assemblaggi si è provveduto alla creazione di alcune mappe di analisi bidimensiali.
La restituzione grafica di queste è stata realizzata utilizzando un modello di estensione più piccola per necessità computazionali.
L'analisi viene fatta per Cluster e Layer.
Per facilitare la lettura delle mappe saranno omesse le aree dei clusters adiacenti.

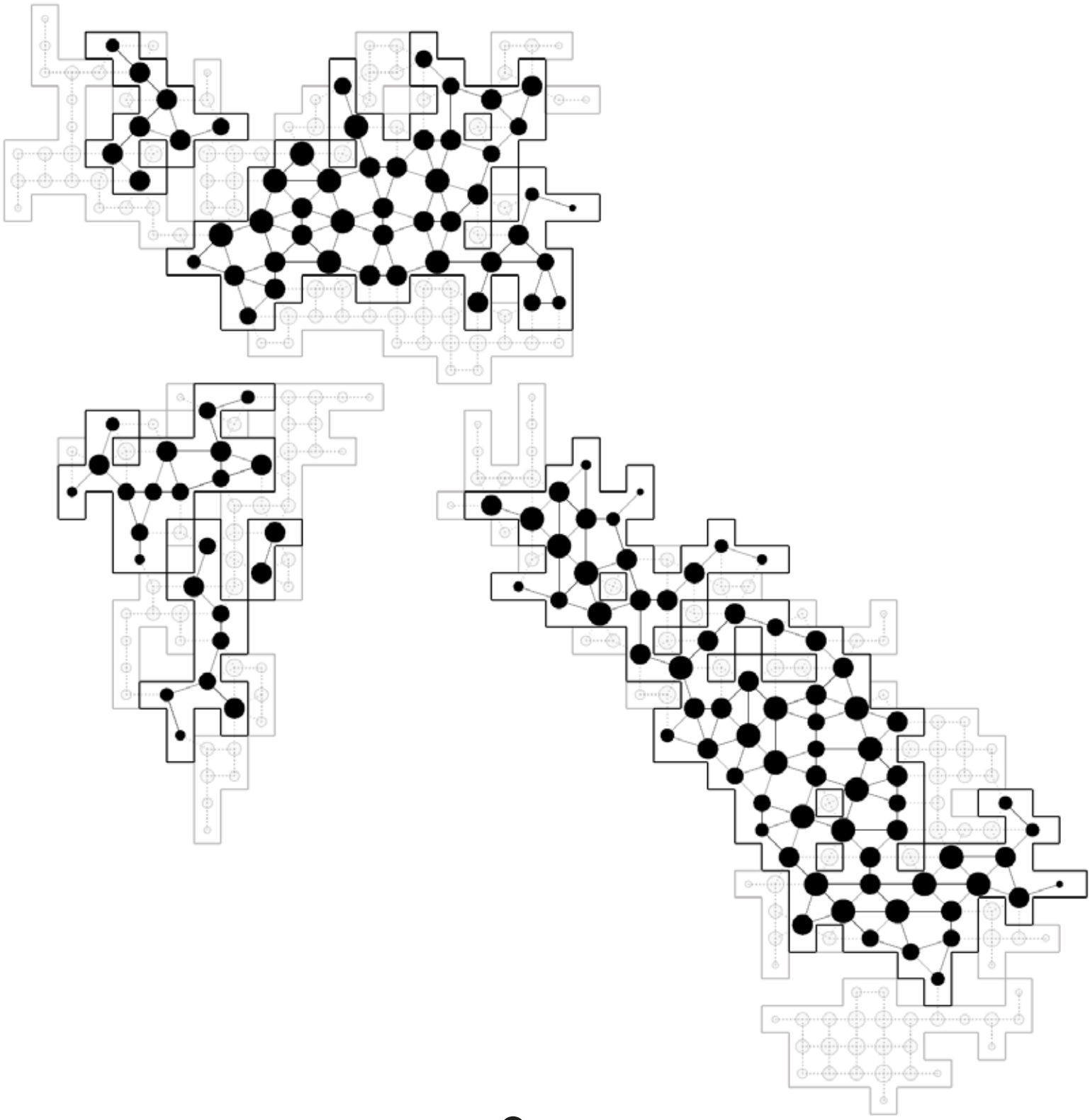
Livello	:	2
Cluster	:	{0}
Area coperta	:	7100 m^2
Area esterna	:	4950 m^2


Parte collegata con Unità
su Layer differenti
Cluster adiacente
Aree interne del cluster
Aree esterne del cluster
0
10
50m

ANALISI TOPOLOGICA NEL PIANO

Le connessioni sono ***proprietà topologiche*** dello spazio, ovvero non dipendono dalla forma ma solo dal tipo e grado di relazione che rappresentano.
Determinati i ***centri delle Unità*** spaziali, questi diventano ***nodi*** di un grafo costruito unendo le Unità aventi almeno una partizione con valore ***> 0,*** quindi *permeabile*. Costruito il grafo, viene calcolato nodo per nodo il numero di rami ad esso afferenti determinandone quindi la ***valenza V_i.***

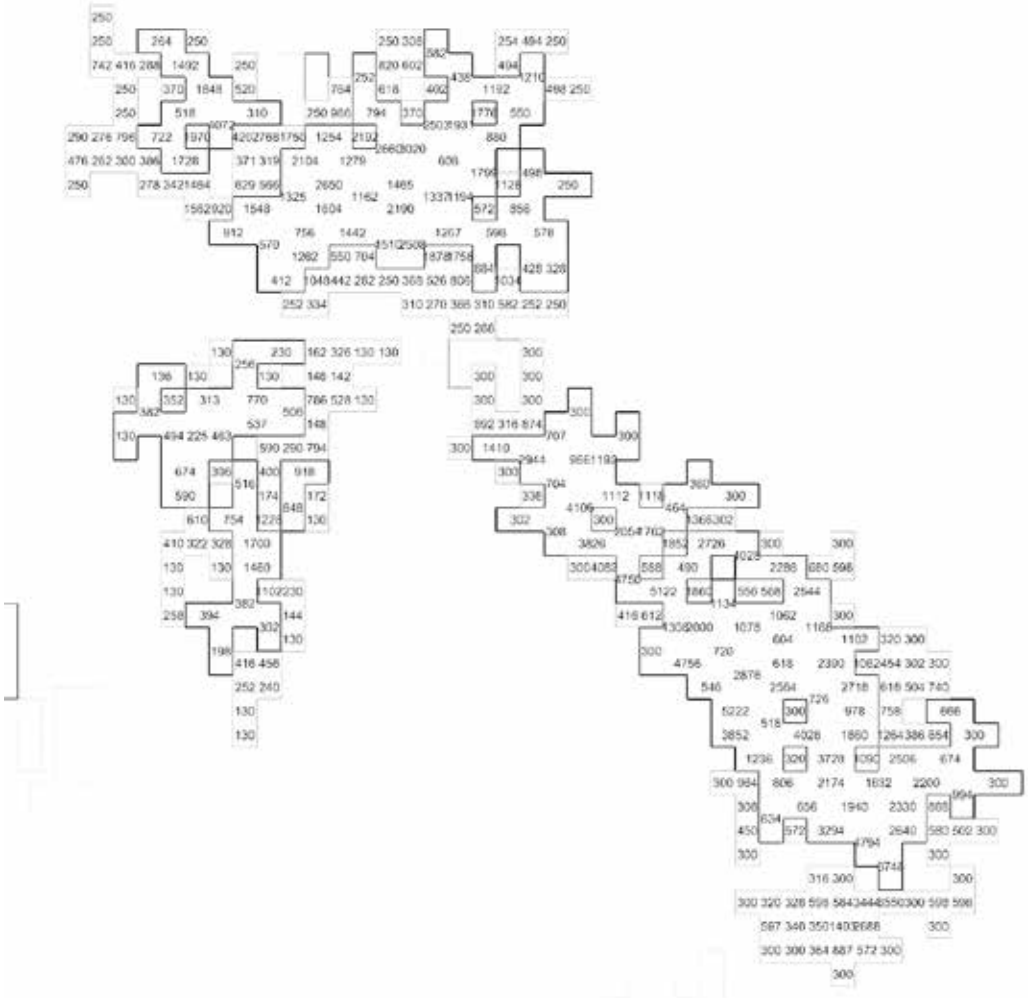


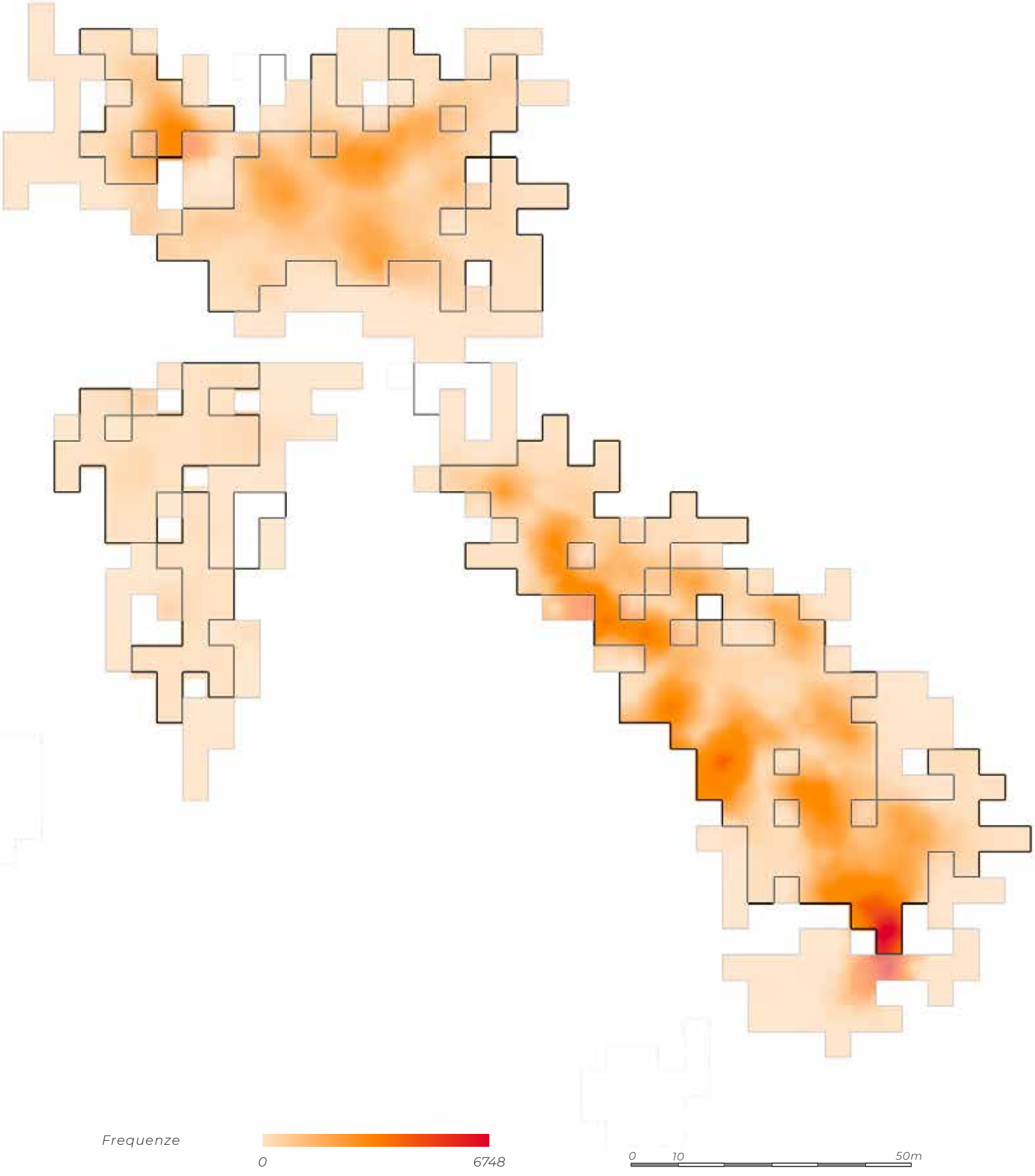

Nodo interno
0
6
Nodo esterno
0
6
0
10
50m

ANALISI DELLE FREQUENZE DI PASSAGGIO

Per poter determinare in maniera approssimata i punti nevralgici del cluster, viene calcolato sul grafo topologico la frequenza di passaggio in ogni nodo: si calcola dal i-esimo nodo il ***percorso più breve*** al N-esimo del reticolo [17]. Dopo aver effettuato questa operazione per tutti i nodi del sistema si ricava il numero di volte che quel nodo è stato computato nel calcolo del percorso.
Questo valore rappresenta la ***frequenza di passaggio*** .

N_i *Frequenze calcolate nel nodo i*




Frequenze
0
6748
0
10
50m

ANALISI DISTRIBUTIVA

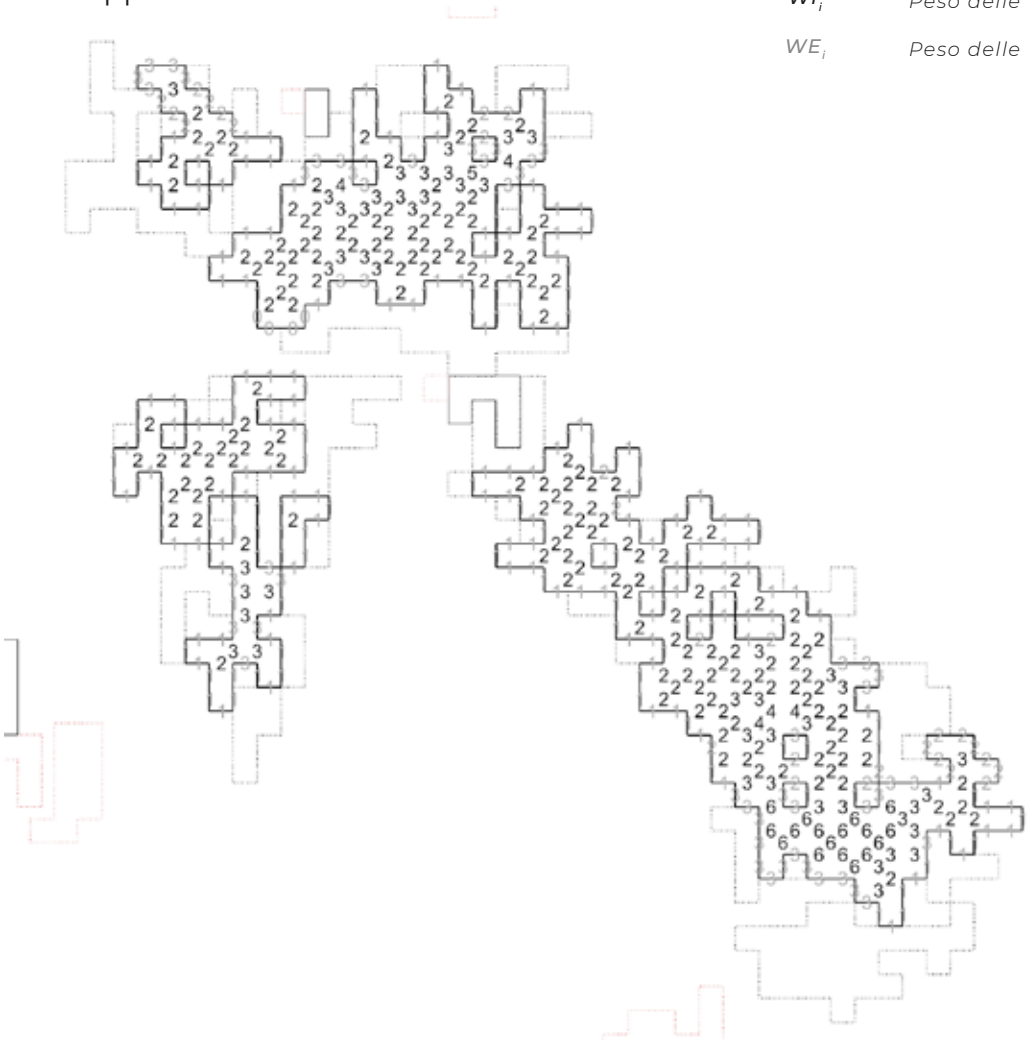
Le partizioni delle Unità spaziali possono dare un'indicazione preliminare sulla tipologia di spazi fruibili. La ***permabilità*** definita negli elementi architettonici viene usata come elemento di definizione di spazi "privati" o "pubblici, collettivi".

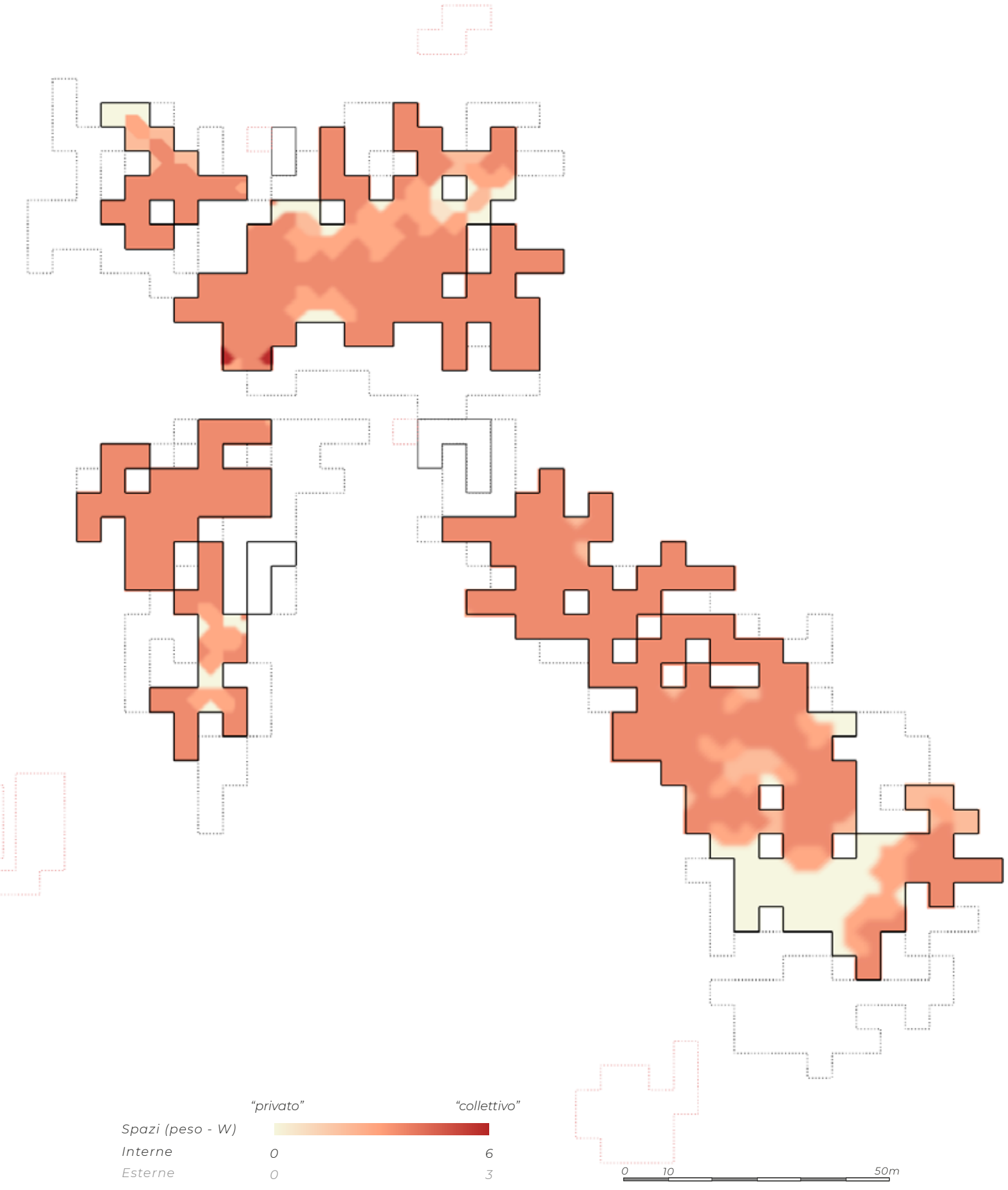
Ad un valore *alto* del ***peso (W)*** della partizione corrisponde una zona dell'assemblaggio più ***aperta e permeabile.*** Per un valore *basso* (W) invece si individuano zone più ***introverse e private***.

Partizioni esterne ed interne hanno domini diversi, quindi il valore viene rimappato sui loro estremi per rendere coerente la rappresentazione.

WI_i *Peso delle partizioni interne*

WE_i *Peso delle partizioni esterne*



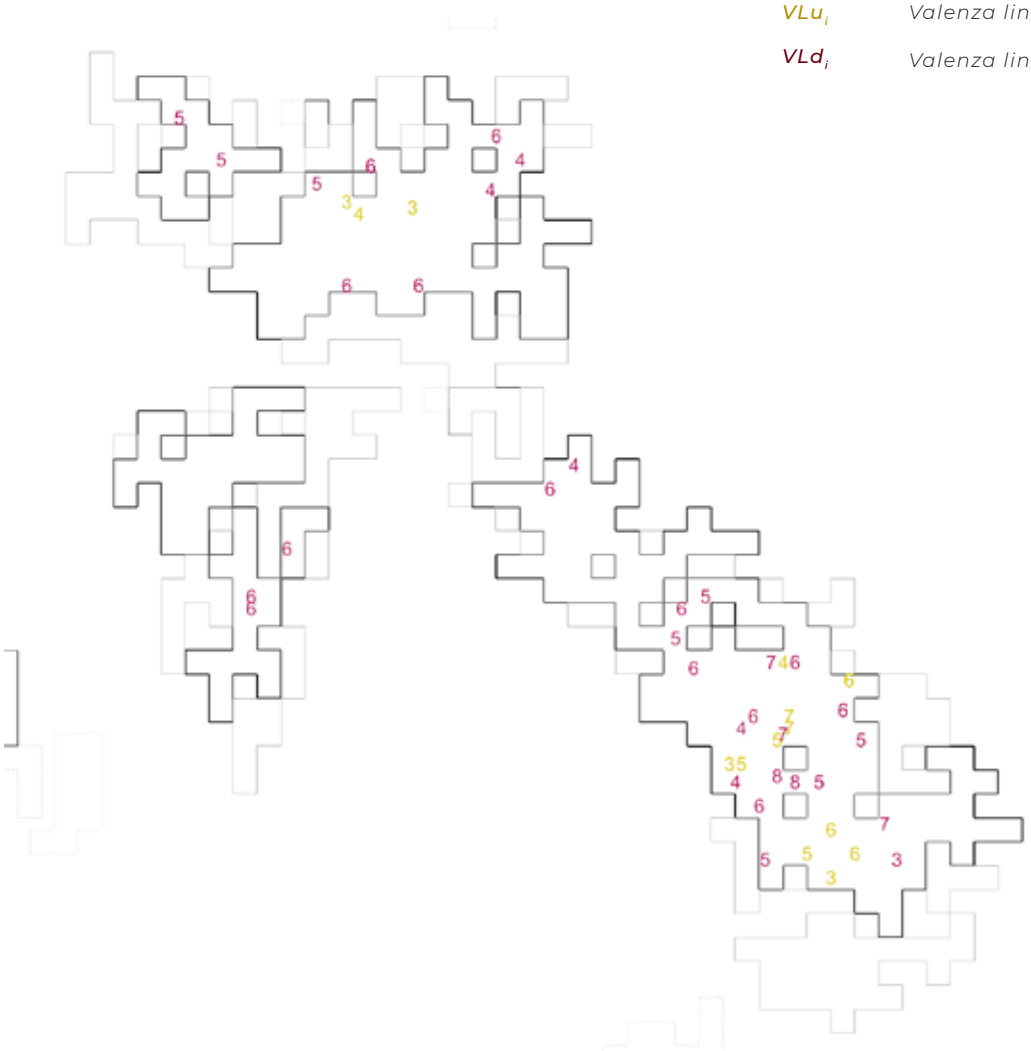

"privato"
"collettivo"
Spazi (peso - W)
Interne
0
6
Esterne
0
3
0
10
50m

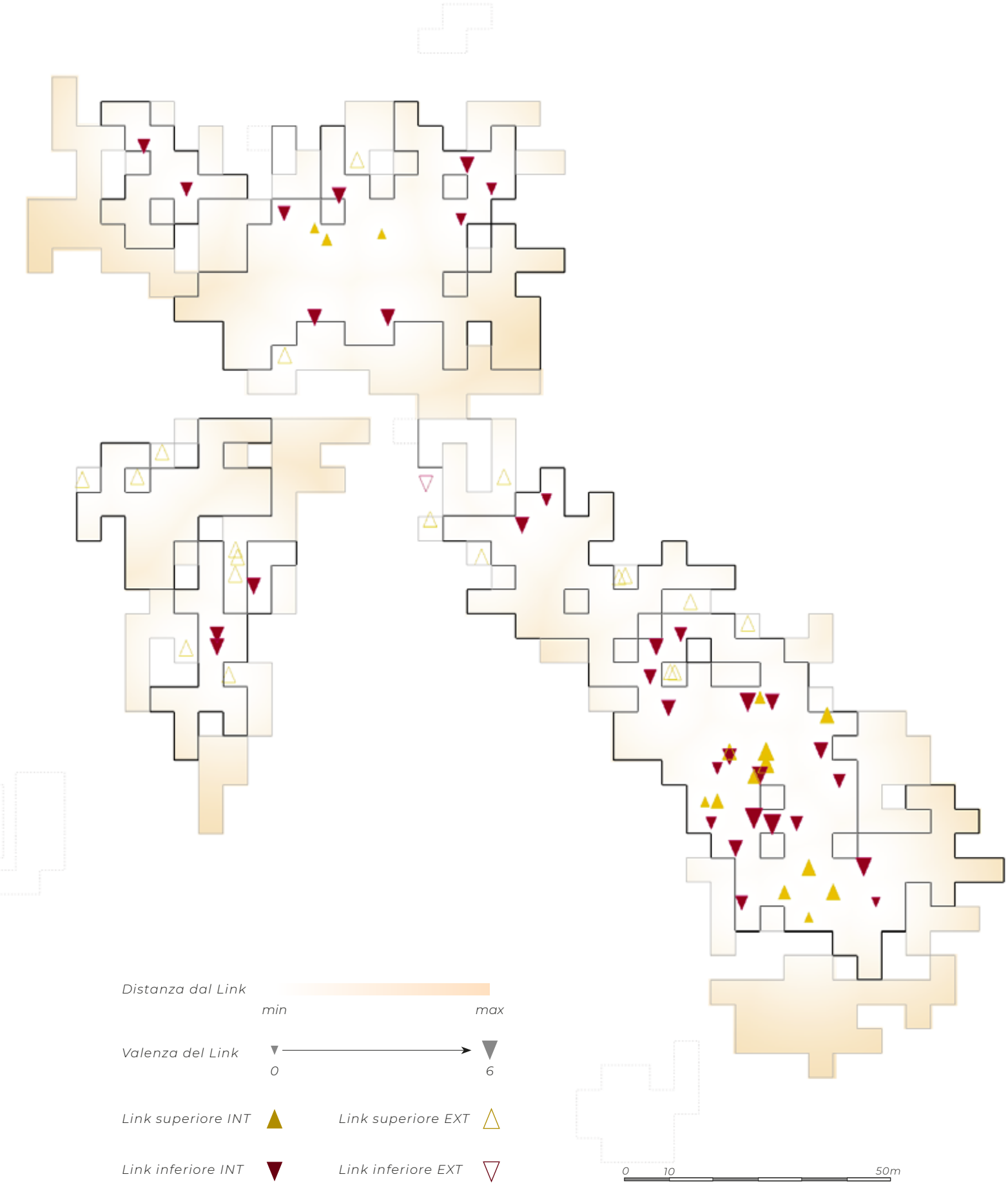
ANALISI TOPOLOGICA TRA I LIVELLI

I Clusters dell'assemblaggio sono collegati tra Layers differenti tramite LINK verticali interni e con gli altri Clusters con LINK verticali esterni.
Per una completa comprensione dell'organizzazione e connettività del Layer studiato, si redige una mappa indicando le posizioni dei LINK, la distanza da questi e la loro ***valenza topologica VL***$_i$. Questa riporta il grado di connettività del nodo al quale il collegamento afferisce.

VLu_i *Valenza link layer superiore*

VLd_i *Valenza link layer inferiore*




Distanza dal Link
min
max
Valenza del Link
0
6
Link superiore INT
Link superiore EXT
Link inferiore INT
Link inferiore EXT
0
10
50m

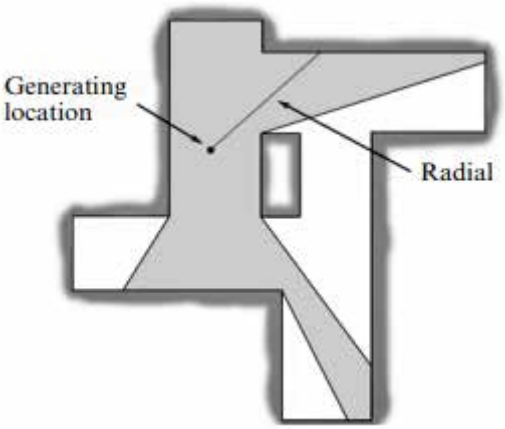
SPACE SYNTAX FOCUS

Lo spazio può essere separato in componenti, analizzato come una rete scelte e rappresentato con mappe e grafi che ne descrivano la connettività ed integrazione [16].

Michael Benedikt (1979) propose la definizione geometrica di ***Isovista***, un'*area direttamente visibile da un punto nello spazio*, considerando il volume di spazio visibile da una posizione e rappresentato attraverso una sezione di questo quindi un poligono definito ***poligono di isovista.***

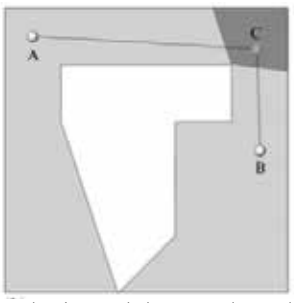
Hillier e Hanson (1984) introducono relazioni di visibilità nell'analisi con grafi di sistemi urbani ed edifici. Costruiscono un set di ***linee assiali*** come il set più ristretto delle linee di vista e accesso più lunghe in un sistema che attraversa uno ***spazio convesso***, ovvero uno spazio nel quale le linee di congiungimento fra i punti non intersecano il perimetro di questo spazio.

Penn (2001) sulle basi dei lavori di Hillier and Hanson e De Floriani (1994) propongono la costruzione di un ***grafo di visibilità*** definendone i vertici (punti nello spazio mutualmente visibili)e collegandoli con linee rappresentanti i rami del grafo. Tutti i vertici collegabili da un punto rappresentano una *isovista o una relazione del primo ordine del grafo si visibilità (a)*, quei vertici invece comuni a più isoviste rappresentano *una relazio-*

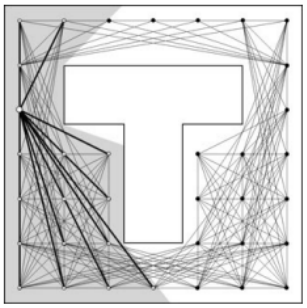


Poligono di isovista

a) relazione del primo ordine



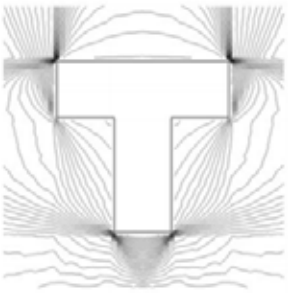
b) relazione del secondo ordine



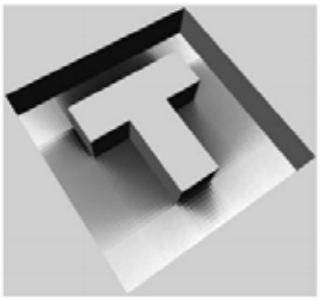
Grafo di visibilità

ne del secondo ordine(b).

I grafi di visibilità si possono analizzare utilizzando usando come riferimento i vertici e la loro distribuzione nel sistema.



Campi di isovista



Neighbourhood field

NEIGHBOURHOOD SIZE - N_I

La dimensione dell'intorno di un vertice del grafo corrisponde al set di *vertici immediatamente collegabili con un ramo*.

Il calcolo di questo valore rappresenta una grandezza direttamente ***proporzionale all'area della isovista*** calcolata in quel punto del grafo.

La rappresentazione grafica di questa entità per tutti i punti dello spazio è confrontabile con il disegno *dei campi di Isovista* (curve che definiscono aree uguali di Isoviste nello spazio, Benedikt, 1979).

CLUSTERING COEFFICIENT - C_I

Il coefficiente di cluster comprende invece il numero di rami compresi fra tutti i vertici nell'intorno del punto analizzato,diviso il numero di possibili connessioni in quell'intorno. In termini di isoviste è l'*area media dell'intersezione* tra la isovista generata e tutte le possibili isoviste visibili in quel punto.

C_i fornisce indicazioni sulla ***variabilità del campo visivo di un osservatore*** nel momento in cui si sposta dal vertice di generazione.

Questa misurazione è in forte relazione con la tipologia di spazio visibile, se l'intorno di un vertice del grafo appros-

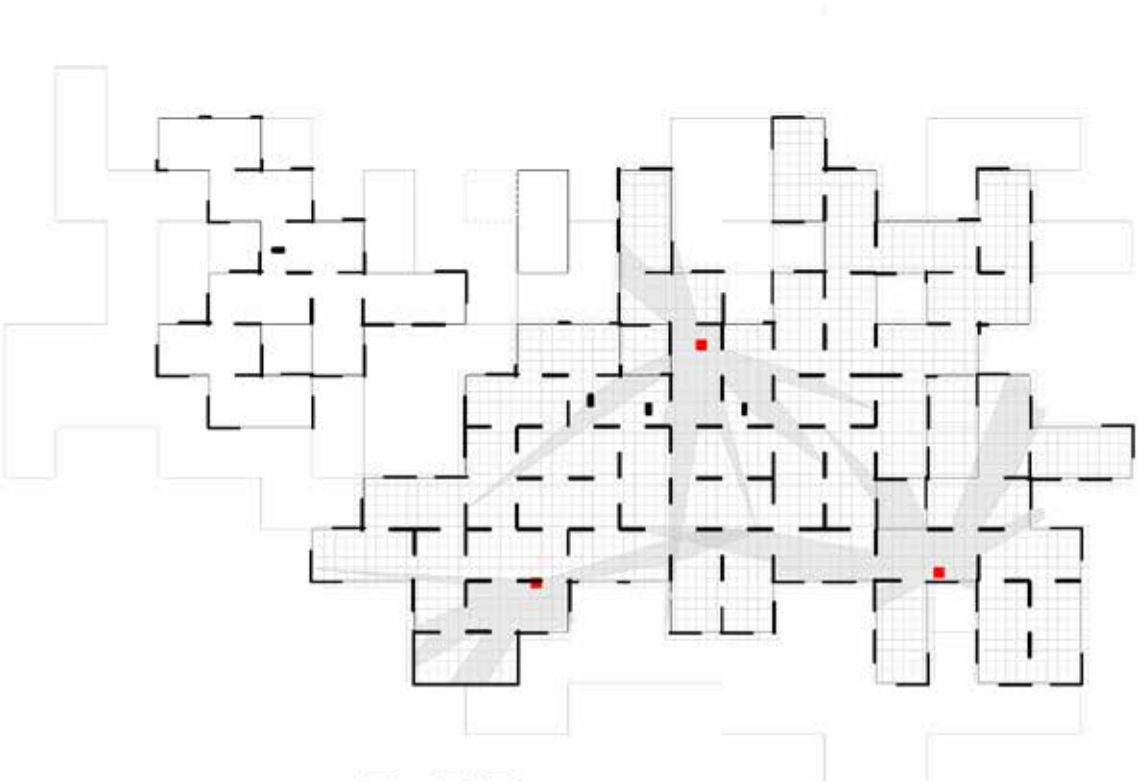
Immagini tratte da From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space" (Penn et al. , 2001).

sima un ***poligono convesso*** (Convex space) allora il coefficiente C_i ***è alto*** (→1) e muoversi da quel punto non provocherà grande perdita di informazioni.
In un ***punto di congiunzione di molteplici campi visivi*** invece questo risulterà ***basso (→0)*** in quanto lo spostamento da quel punto implicherà la perdita di visione della vista precedente.
Dal momento che il *movimento induce una scelta su quale informazione lasciarsi alle spalle,* il coefficiente di cluster è potenzialmente collegabile al ***processo decisionale*** nel trovare *vie di navigazione dello spazio e fa emergere punti nevralgici dello spazio in cui l'osservatore deve prendere una decisione*.

APPLICAZIONE

Questi concetti vengono utilizzati per analizzare i piani degli assemblaggi generati. Per condurre l'analisi viene utilizzato PlanBee [18], che suddivide lo spazio in voxel di 1 m^2 generando così una mappa di vertici utilizzabili nella generazione dei grafi di visibilità.
Punto per punto (voxel per voxel) si generano i poligoni di isovista, si computano i vicini presenti nell'intorno e si calcola il coefficiente di cluster.
Le mappe generate forniscono dunque informazioni preziose per uno sviluppo futuro della progettazione in quanto danno un primo feedback su aspetti qualitativi e quantitativi dello spazio.

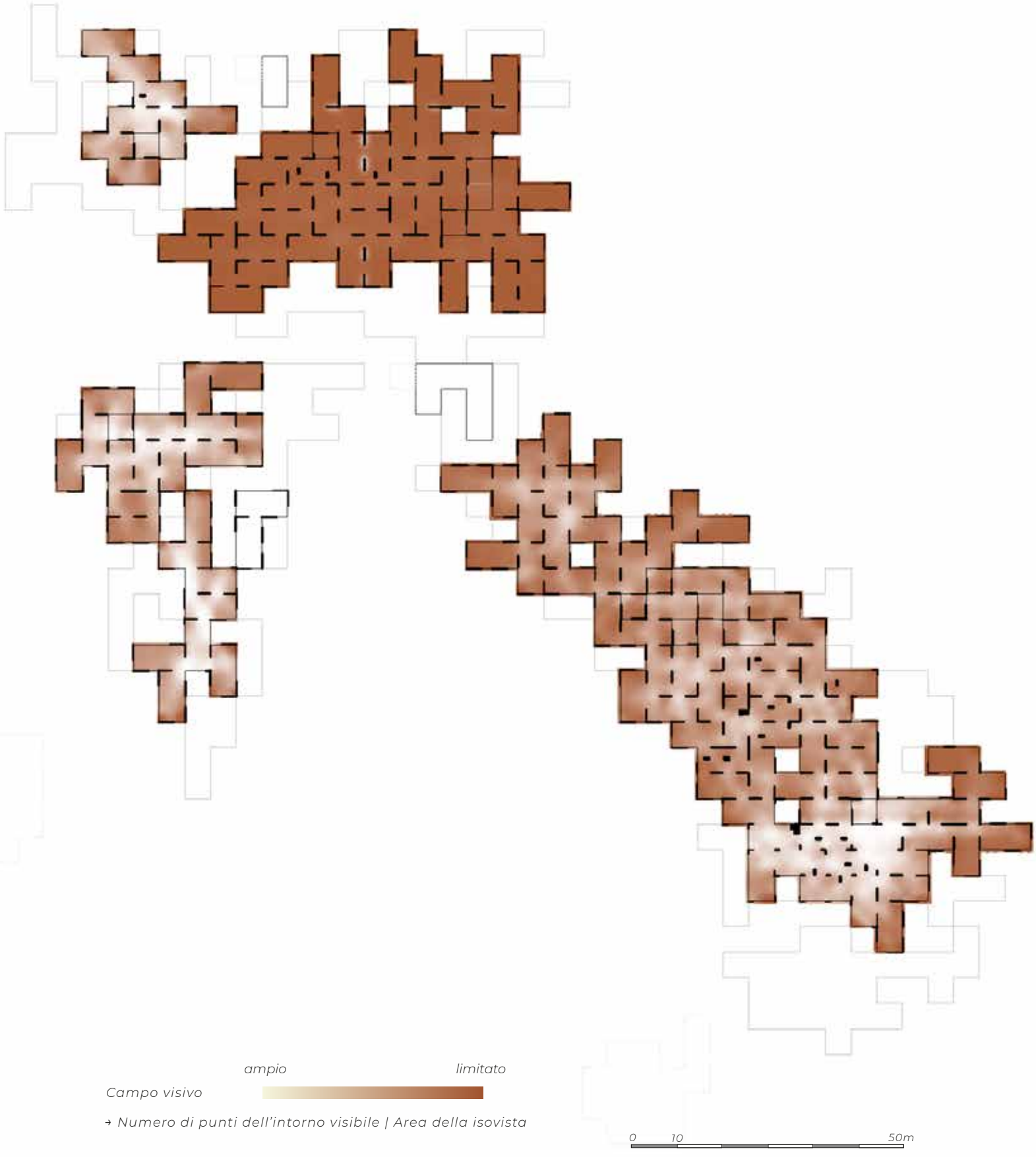
Attraverso tecniche più avanzate relative all'uso di reti neurali si potrebbero definire, con le cosìddetete Kohonen Self Organizing Maps (KSOM)[1] [19], la destinazione degli spazi a partire dalle analisi aumentando la profondità di indagine con per esempio uno studio sull'irraggiamento solare. .



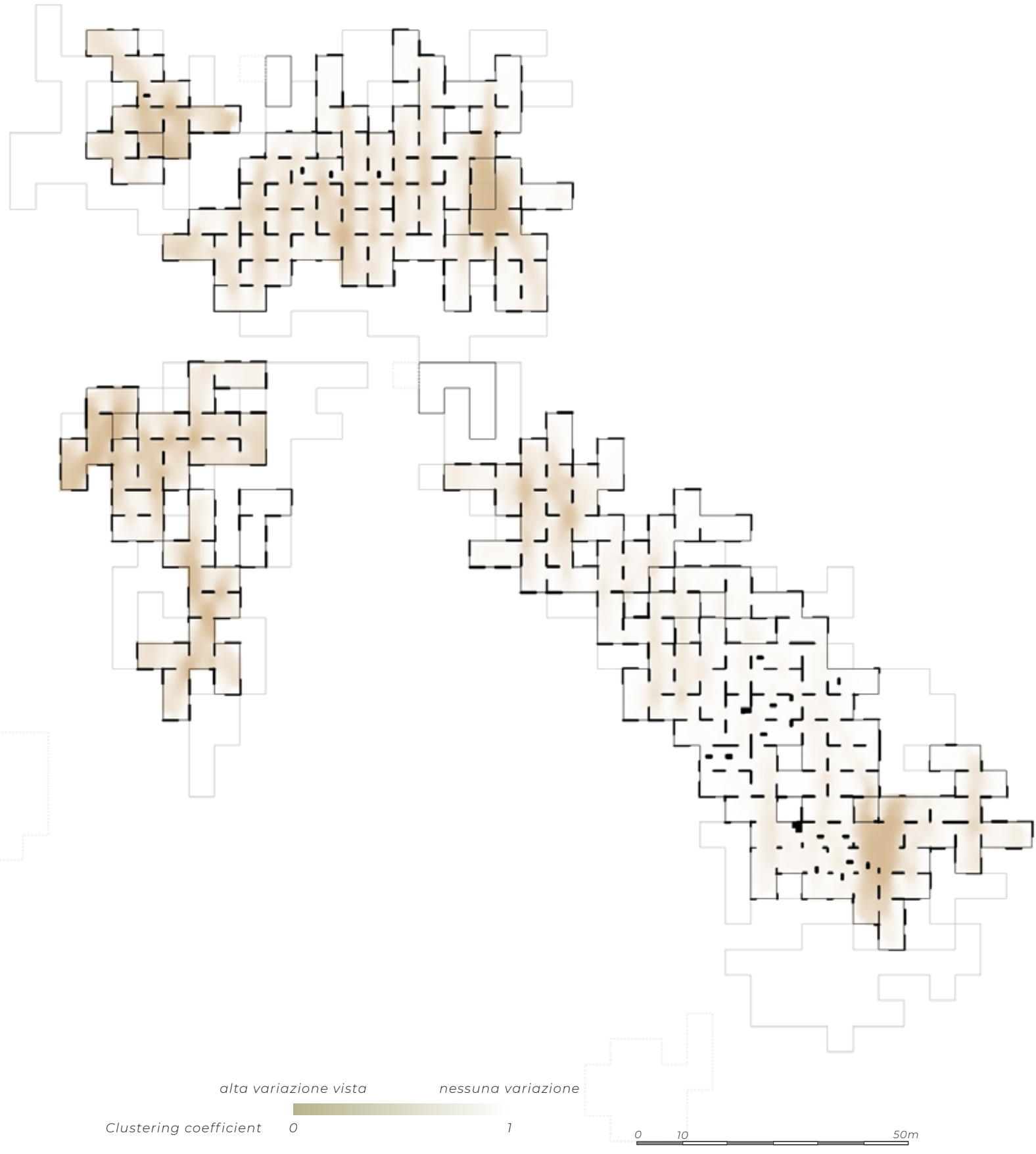
Esempio di generazione di poligoni di isovista utilizzando la mappa discretizzata in voxels come generatrice

1. KSOM - Reti neurali capaci di forire una rappresentazione di dati multidimensionali in spazio dimensionale minore, solitamente in 1 o 2 dimensioni

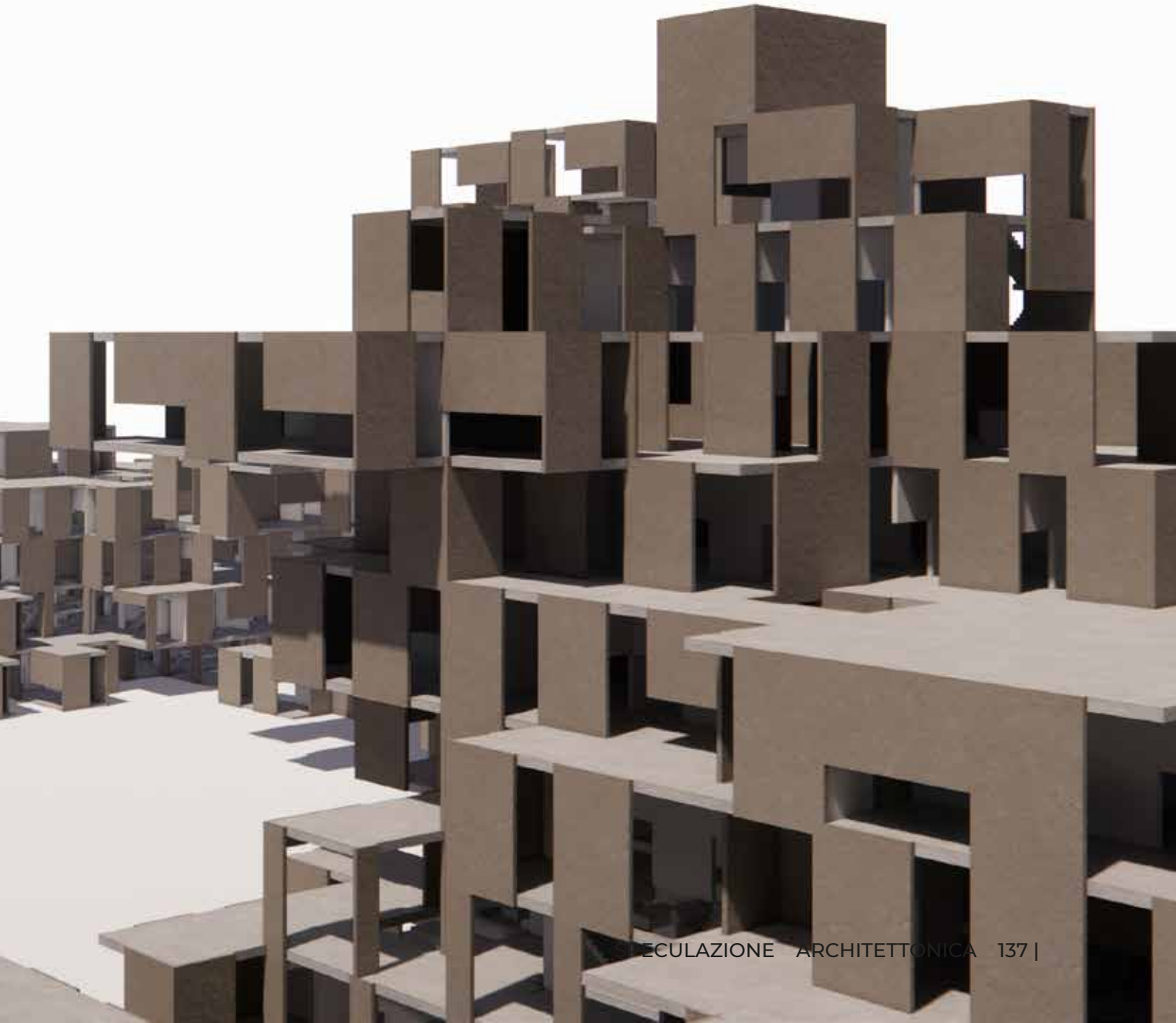
NEIGHBOURHOOD SIZE

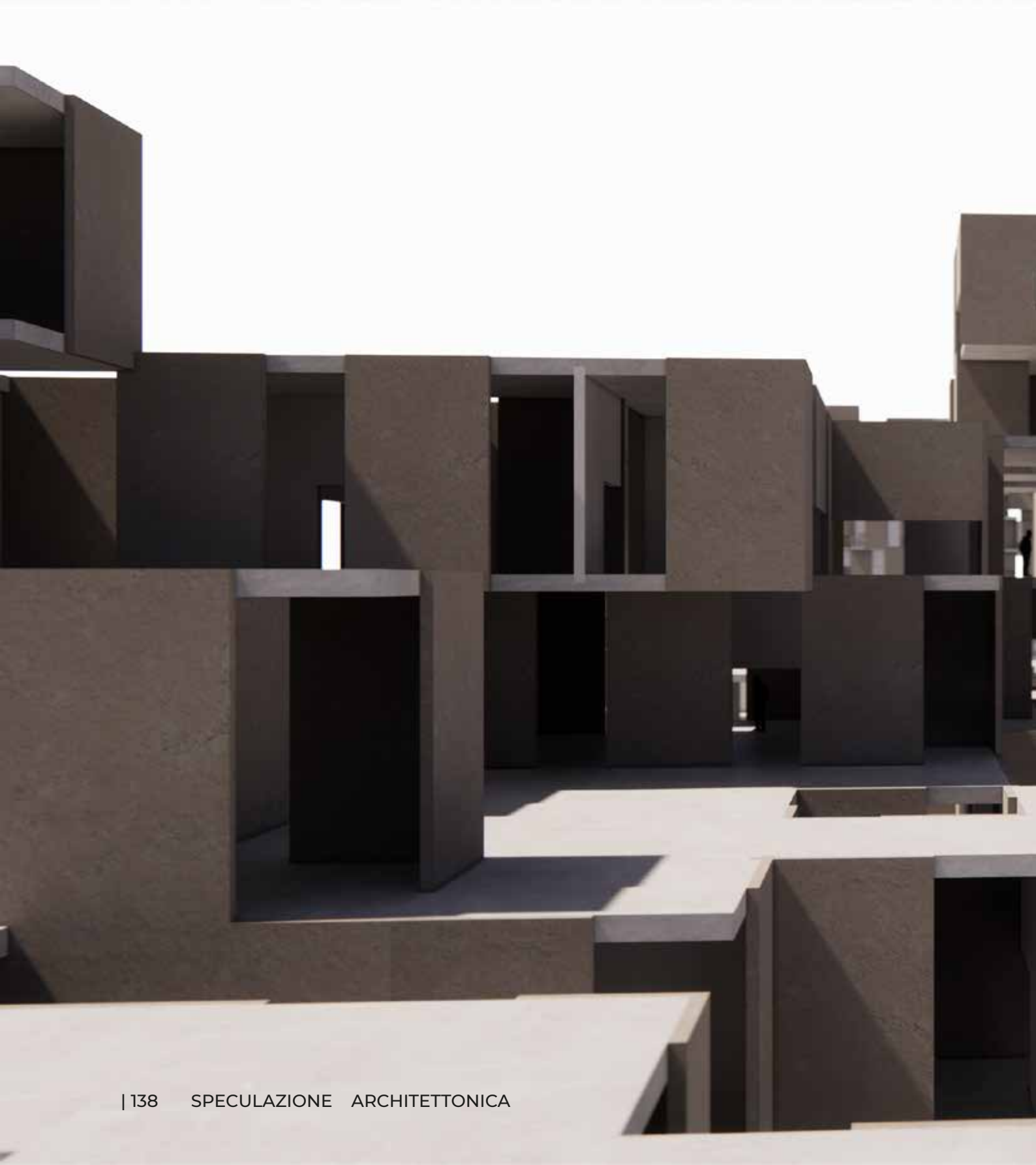


CLUSTERING COEFFIECIENT



VISTE ASSEMBLAGGI





4 | CONCLUSIONI

Il percorso di ricerca ha esplorato lo sviluppo di sistemi multi-agente basati su interazioni simbiotiche e loro applicazione al processo di progettazione architettonica. La guida teorica di indagine è stata definita partendo dalla riflessione sul rapporto che intercorre fra il Progettista / Designer ed il sistema tecnologico digitale. La relazione è evoluta oltre la dicotomia tra uomo e strumento, sviluppando delle interazioni che nel tempo sono diventate cultura e sapere, le cui dinamiche possono essere viste come processi fra specie o sistemi in simbiosi.

Per indagare le potenzialità di questo rapporto al fine di generare un sistema architettonico, la cui scala non fu definita a priori, si sono usate tecniche di simulazione di sistemi emergenti, scrivendo i codici comportamentali di agenti le cui interazioni locali avrebbero prodotto l'emergenza di un ordine a livello globale.

Dopo aver studiato alcune tipologie di relazioni simbiotiche nei sistemi biologici, si è costruito un sistema fondato su due popolazioni di agenti con scopi differenti: una popolazione di agenti guida ed una di agenti costruttori, capaci di interagire secondo regole di comunicazione indiretta. La prima parte dello studio si è focalizzata su questo rapporto commensale nello spazio tridimensionale; una iniziale sovrabbondanza di parametri e regole ha portato a risultati difficilmente traducibili in termini

architettonici. L'eliminazione del la popolazione guida con l'intento di semplificare il sistema, ha portato ad un processo costruttivo potenzialmente illimitato, se non mediante imposizione arbitraria di limiti fisici.
Viene quindi re-introdotta una seconda popolazione di agenti avente però scopo regolatore, in modo da contrastare gli effetti degli agenti e costruttori, la quale agisce direttamente sulle modalità di comunicazione della prima instaurando in termini simbiotici un rapporto parassitario. Analizzando i risultati degli assemblaggi generati e dei percorsi formatasi, emerge una competizione per la fruizione dello spazio in cui queste dinamiche occorrono.

Versus Habitat racchiude quindi quei fenomeni riscontrati nel sistema progettato di continua negoziazione dello spazio da parte di due popolazioni che condividono lo stesso ambiente, sfruttando dinamiche di natura competitiva in modo propositivo.

Il sistema dunque, esplorato in forma diagrammatica per la maggior parte della ricerca, è stato declinato ad una scala alla quale dinamiche di tipo architettonico ed urbano risultano compresenti ed interagenti. La progettazione dell'architettura non si è basata sulla definizione di una particolare estetica o programma funzionale, ma è stato colto dal sistema generatore la possibilità di tradurre i dati memorizzati nel processo di costruzione come guida per l'organizzazione spaziale.

Il risultato finale ottenuto è un assemblaggio architettonico di unità connesse in maniera distribuita che sfida la distinzione consolidata tra edificio e spazio urbano. La topologia creata può essere destinata ad ambienti privati o collettivi senza la necessità di una pianificazione dall'alto ma basandosi esclusivamente sulle dinamiche complesse di negoziazione definite dal sistema.

L'aspetto interessante del lavoro emerge nel momento in cui si comprende la necessità di agire fondamentalmente contro lo scopo per il quale il sistema è stato creato e successivamente nello sfruttare i dati e le informazioni dell'ambiente rendendo coerente processo e risultato.

Allo stato attuale di sviluppo della ricerca, rimangono molteplici strade di indagine aperte, come ad esempio la possibilità di implementare tecniche di analisi basate su machine learning (quali Kohonen Self -Organizing Maps) per la determinazione delle funzioni associate agli spazi generati in funzione delle analisi qualitative e quantitative condotte.

Concludendo, credo che la scrittura dell'architettura del sistema nel suo codice sia essa stessa definibile come un rapporto di simbiosi. Una costante traduzione del linguaggio i cui risultati devono essere sempre rinegoziati agendo contro l'inerzia dei modelli di pensiero preesistenti, accettando i limiti del complesso di regole generate e sfruttandone invece le potenzialità.

REFERENCES

Benedikt, Michael L. 1979."To take hold of space: isovists and isovist fields", in Environment and Planning B Planning and Design 6(1): 47-65

Braitenberg, Valentino. 1984. Vehicles: Experiments in synthetic psychology. Cambridge, MA: MIT Press

De Floriani, Leila, Paola Marzano e Enrico Puppo. 1994. "Line-of-sight communication on terrain models", in International Journal of Geographical Information Systems 8: 329-342.

Grover, James P., 2008. "Population and Community Interactions", In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Encyclopedia of Ecology, ed S.E. Jorgensen and B. Fath, 2891-2901.

Hillier B, Hanson J, 1984 The Social Logic of Space (Cambridge University Press, Cambridge)

Johnson, Steven. 2001. Emergence: the connected lives of ants, brains, cities, and software. New York: Scribner.

Jones, J. 2010. Characteristics of pattern formation and evolution in approximations of physarum transport networks. Artificial Life, 16(2), 127-153. https://doi.org/10.1162/artl.2010.16.2.16202

Köhler, Daniel. 2017. Large City Architecture: the mereological mode of the quantified city, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems

Reynolds, Craig. W. 1999. "Steering Behaviors For Autonomous Characters." Sony Computer Entertainment America

Russell, Stuart J. and Peter Norvig. 1994. Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Stewart, Arthur J. and Ray F. Stewart. 2008. "Phenols." In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Encyclopedia of Ecology, ed S.E. Jorgensen and B. Fath, 2682-2689.

Tattar, Terry A., 1989. "Soil stess", in Part II: Noninfectious Diseas, in Diseases of Shade Trees (Revised Edition), ed. Elsevir, 250-263. Academic Press

[1] https://www.biologyonline.com/dictionary/symbiosis

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/

[3] Rhizospherehttps://en.wikipedia.org/wiki/Mycorrhiza

[4] https://www.biologyonline.com/dictionary/symbiosis

[5] https://asknature.org/strategy/symbiosis-enables-growth-in-salty-soil/

[6] https://it.wikipedia.org/wiki/Camponotus_leonardi

[7] https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/la-simbiosi-microbiologia-italia

[8] https://www.youtube.com/watch?v=urWRRpy1fCw&t=5923s - [Part 2/6] C# Scripting and Plugin Development for Grasshopper

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/Data_binning

[10] http://paulbourke.net/fractals/dla/

[11]

[12] https://www.scientificamerican.com/article/what-is-homeostasis/ What is Homeostasis? Emeritus Professor Kelvin Rodolfo of the University of Illinois at Chicago's Department of Earth and Environmental Sciences , January 3, 2000

[13] http://socks-studio.com/2015/10/29/the-free-university-of-berlin-candilis-josic-woods-and-schiedhelm-1963/

[14] https://www.archdaily.com/404803/ad-classics-habitat-67-moshe-safdie

[15] http://socks-studio.com/2016/12/08/the-city-in-the-space-by-ricardo-bofill-and-taller-de-arquitectura-1970/

[16] https://en.wikipedia.org/wiki/Truchet_tiles

[17] https://en.wikipedia.org/wiki/Space_syntax

[18] https://www.food4rhino.com/app/shortest-walk-gh

[19] https://www.food4rhino.com/app/planbee

[20] http://www.ai-junkie.com/ann/som/som1.html