Erosion Swarm Behaviour

Design di una body suit sportiva per mezzo di un Agents based system

 $\textbf{Davide Del Giudice} \ \ \textbf{Independent design researcher}, \ \ \textbf{DGD-Del Giudice Design} \\ \textbf{madeconcept@gmail.com}$

L'abito è il primo strato di protezione e separazione tra il corpo umano e l'ambiente circostante. Se l'involucro edilizio è considerato come un abito da indossare, l'abito stesso nella sua complessità può essere considerato un'architettura; come gli edifici anche gli abiti vengono progettati per adattarsi alle diverse condizioni climatiche. L'intento è esplorare per mezzo di simulazioni e di un approccio computazionale il design di una body suit sportiva che contrasta le condizioni climatiche tramite le sue forme.

Erosione, Biomimetica, Fashion design, Swarm Behaviour, Simulazione degli agenti stigmatici

The dress is the first layer of protection and separation between the body and the surrounding environment. If the building envelope is regarded as a dress to wear, the same dress in its complexity can be considered an architecture; like the buildings also the clothes are designed to adapt to different climatic conditions. The intent is to explore by simulations and a computational approach a design of a sports body suit contrasting climatic conditions through its forms.

Erosion, Biomimicry, Fashion design, Swarm Behaviour, Stigmergy agents simulation

«Negli anni Sessanta, Marshall McLuhan disse che i nostri vestiti e le nostre case erano estensioni della nostra pelle. Dai tempi più antichi, l'architettura è sempre stata il principale mezzo per adeguare le nostre necessità all'ambiente naturale. L'Architettura contemporanea deve funzionare anche come strumento che ci abitui all'ambiente dell'informazione, una forma estesa della pelle che si relaziona sia alla natura che alle reti di informazione. L'architettura odierna deve diventare un vero e proprio abito mediale.»

Introduzione

71

Il contesto in cui si inserisce la ricerca proposta è il fashion design sviluppato per migliorare le performance del prodotto. Negli ultimi anni si è posta maggiore attenzione in questo campo, utilizzando nuovi strumenti di calcolo e di modellazione tridimensionale, usando la prototipazione rapida per stampare il prodotto con materiali elastici e sintetici, usando in alcuni casi sensori che reagiscono agli input modificando le forme e le performance del capo di abbigliamento.

La relazione tra il corpo umano e l'ambiente naturale attraverso un approccio di *performative driven design* prenderà in considerazione i comportamenti del corpo: movimenti, protezione, regolazione termica. Il prototipo di ricerca è stato sviluppato tramite una simulazione applicata al design della body suit attraverso le tecniche di modellazione tridimensionale e l'uso di custom design codes. Nel caso specifico un algoritmo che simula l'erosione è stato sviluppato per analizzare continui cambiamenti del materiale che apporteranno modifiche morfologiche, producendo un catalogo di variazioni e proprietà quali traspirazione, ventilazione, resistenza. Questo progetto si basa sulla riorganizzazione dei materiali, in particolare sull'azione fluidodinamica dell'erosione. Possiamo affermare che il modello progettuale proposto si basa sul concetto di Biomimetica, cioè lo studio consapevole di processi biologici e biomeccanici della natura come fonte di ispirazione per il miglioramento delle attività e tecnologie umane. Il concept è stato esplorato attraverso uno script che si basa su un sistema agent-based che ci permette di sommare i diversi comportamenti e usarli come dati per il processo di design. Lo studio degli agent based systems [1] e della logica dell'intelligenza distribuita hanno acquisito un ruolo

importante nel dibattito architettonico contemporaneo. La ricchezza generata dalla configurazione complessa e dalla varietà di soluzioni è permessa grazie ad un approccio al design di tipo algoritmico, dove una serie di regole portano al sistema ad auto organizzarsi e creare nuovi scenari.

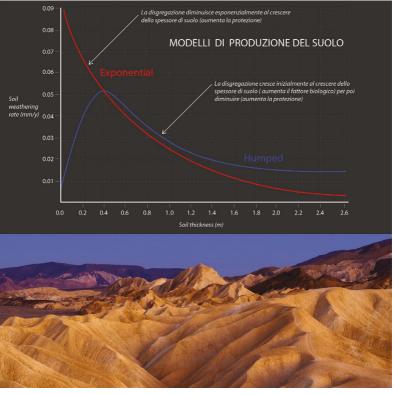
Nell'essay si discute dell'applicazione di sistemi multi agents come strumento di form finding per la creazione di mesh volumetriche complesse variando la loro stessa morfologia tramite una logica di porosità e involucro. La simulazione dei multi agents system è stata calcolata tramite un codice scritto in linguaggio Java usando il software Processing e la simulazione dell'erosione è stata creata utilizzando Grasshopper, plugin del software 3d Rhinoceros. Scopo della ricerca è la simulazione di un sistema naturale come strumento generativo per migliorare le perfomance delle body suit usate in attività sportive come il running. La mappatura delle performance di un corpo umano durante un'attività sportiva evidenzierà le zone del corpo da proteggere e quelle da rendere traspiranti. La body suit è stata rappresentata con una geometria di tipo mesh generata tramite il sotware di modellazione 3D Autodesk Maya. La struttura della ricerca sarà svolta seguendo il flusso di lavoro: modellazione, analisi, simulazione, ottimizzazione, prototipazione.

Erosione, simulazione del fenomeno naturale

L'erosione dei terreni come sistema naturale è stato preso come modello di simulazione per la ricerca di un'ottimizzazione delle superfici dei tessuti che compongono la body suit. L'azione di erosione (depressione della superficie) e quella di sedimento (innalzamento della superficie) sono stati gli effetti provocati dagli agents al fine di ottenere delle parti in rilievo per proteggere gli organi e parti in depressione per utilizzare materiali traspiranti dove il corpo presenta maggiore sudorazione durante l'attività fisica.

L'evoluzione e la modellazione di ogni forma della superficie terrestre dipendono da tre insiemi di cause: fattori geologici (quali la tettonica o la litologia delle rocce), agenti di modellamento (quali, ad esempio, la forza di gravità, l'acqua, il vento, l'azione dell'uomo), condizioni climatiche (radiazione solare, umidità dell'aria, pressione atmosferica, tipo e distribuzione delle precipitazioni, delle temperature, ecc.).

L'insieme delle cause elencate si ritrovano in ogni forma della superficie terrestre. Ad esempio una duna di un deserto è costituita da sabbia (fattore geologico), è accumulata dal vento (agente del modellamento), è localizzata in ambiente arido privo di vegetazione (condizione climatica). Un primo tipo di distinzione può essere fatto tra forze endogene e forze esogene, da cui risultano i relativi gruppi di processi endogeni e processi esogeni, e le forme corrispondenti. Al primo gruppo appartengono i fenomeni tettonici, sismici, vulcanici, ecc.; al secondo i fenomeni legati all'atmosfera, all'idrosfera, alla biosfera, siano essi di



73

natura fisica, chimica o biologica. Le forme della superficie terrestre – che siano prevalentemente di origine endogena o legate essenzialmente a cause esogene – risultano tutte modellate dai processi esogeni. I processi esogeni del modellamento geomorfologico si suddividono in tre tipi: erosione, trasporto e sedimentazione.

OI Grafico dei modelli di produzione del suolo, Death Valley (credits: National Geographic)

L'erosione del suolo consiste nel fenomeno di asportazione del materiale che lo costituisce da parte dell'acqua e del vento, attraverso azioni meccaniche e chimiche. Dal punto di vista scientifico e tecnico viene fatta una ulteriore distinzione a livello di scala spaziale: al concetto di erosione del suolo (*soil erosion*) si aggiunge quello di perdita di suolo (*soil loss*) e di produzione di sedimento (*sediment yield*) [fig. 01].

Il sistema rappresenta il bilancio di un terreno in presenza di assegnato spessore di suolo:

a)
$$R = E + S$$
 b) $E = p_s R$

- a) bilancio di massa: la roccia disgregata R viene rimossa dall'erosione E e dalla soluzione S (il moto di filtrazione asporta la parte più fine);
- b) interfaccia (presenza di suolo): la quantità erosa E è solo una parte p_e (<1) di quanto viene rimosso.

Nella simulazione adottata questo modello di produzione del suolo è stato tradotto in una traslazione delle coordinate dei vertici della mesh lungo le normali. Uno spostamento secondo la normale positiva nel caso di sedimenti del materiale e uno spostamento lungo la normale negativa in caso di asportazione del materiale. Così facendo possiamo vedere come l'algoritmo agisce sulla mesh conferendo gli effetti morfologici di erosione e sedimento. In questo esperimento la quantità di volume della mesh (R) è data dall'azione erosiva (E) controllata dall'utente tramite un parametro con valori variabili da 1 a 2 (valore 1 per erosione, valore 2 per sedimento) aggiungendo un parametro di orientamento della mesh secondo un piano XY, in questo caso la mesh è stata orientata 45° verso l'alto, per ottenere un effetto di dilavamento degli agents, come effetto delle acque meteoriche scorrenti su rocce in pendio (S).

In modo più specifico possiamo analizzare l'equazione universale dell'erosione del suolo (U.S.L.E.), proposta da Wischemeier e Smith nel 1978, cioè l'equazione più ampiamente utilizzata in Occidente, da chi si occupa di conservazione del suolo.

- c) E = R*K*LS*C*P
- d) E = quantità di terreno erosa (ton ha-1); R = fattore di erosività della pioggia (UE); K = fattore di erodibilità del suolo (ton ha-1UE-1); L = fattore di lunghezza (adimensionale); S = fattore di pendenza (adimensionale); C = fattore di coltivazione (adimensionale); P = fattore di pratica colturale e/o antierosiva (adimensionale).

Nella simulazione creata per questa ricerca possiamo tradurre la seguente formula in:

d) $E = \sum_{k=0}^{n} (P + fO)$

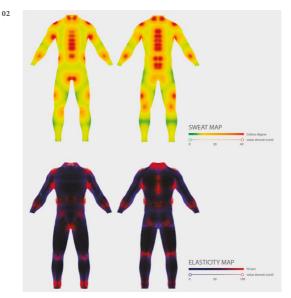
74

d) E = valore dell'erosione (valore positivo se si tratta di un sedimento, valore negativo se si tratta di erosione); n = numero dei loop della simulazione (sono i numeri di iterazioni dell'algoritmo, possono variare da un minimo di 1 ad un massimo di 100 dato il limite di calcolo del software); P = Pressione, ovvero vettore di traslazione (direzione normale negativa se di erosione, direzione normale positiva se sedimento, con valori variabili da 1 a 2); fO = fattore di orientamento, questo parametro dipende dalla posizione dell'agent rispetto alla mesh, se la mesh è orientata sul piano xy il valore è tra 0 e 1, se è orientata a 45° rispetto al piano XY il valore cresce, ecc.).

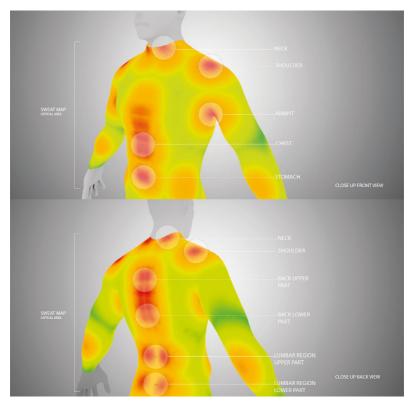
Mappe di analisi del comportamento del corpo

Per la progettazione e design della body suit adatta per l'attività fisica, si è posta attenzione specifica ai parametri di traspirazione dei tessuti, all'isolamento dagli agenti atmosferici, congiuntamente all'obbiettivo di migliorare la visibilità in condizioni di nebbia o crepuscolo durante le attività di workout all'aperto [fig. 02].

Variazioni regionali di sudorazione nel corpo sono ampiamente dimostrate. Uno studio della Loughborough University è stato condotto per investigare il tasso regionale di sudorazione (RSR, regional sweat rates) e la sua distribuzione nel corpo negli atleti di sesso maschile. Risultati inaspettati mostrano alti livelli di sudorazione nella parte centrale e lombare, in particolare nell'area della spina dorsale; parallelamente, alle estremità del corpo sono stati trovati valori molto bassi. Gli accademici sono stati sorpresi per gli alti valori di sudorazione della spina dorsale, la parte posteriore del corpo è meno esposta ai flussi di aria, quindi meno efficiente per il raffrescamento del corpo, che è la funzione primaria della sudorazione. I biologi hanno evidenziato come ciò è dovuto al fatto che durante l'evoluzione dell'uomo, nel passaggio da quadrupede a bipede, si è persa la configurazione di protezione del petto e di raffrescamento della schiena, quest'ultima posta a costituire la zona superiore del corpo piu esposta al vento. Questa analisi è interessante per il design della



O2 Sweat map e Elasticity map, analisi delle temperature e dell'elasticità nel corpo umano durante l'attività fisica



body suit ai fini di ottimizzare i parametri di raffrescamento e di comfort nella zona lombare [fig. 03].

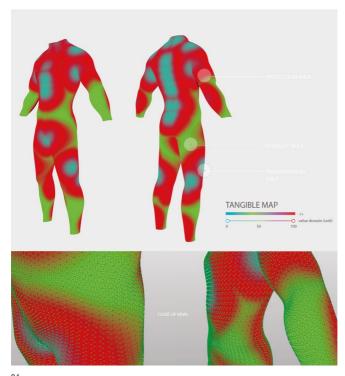
Il primo approccio simulativo è stato svolto attraverso la modellazione di una mesh con la tecnica *low poly* sulla base del corpo umano. La *mesh low poly* è stata costruita tramite vertex e faces con il software di modellazioe 3D Autodesk Maya e poi convertita in formato .OBJ per la rielaborazione in altri software di tipo simulativo di seguito illustrati.

Il workflow di analisi si è basato sul concetto di analisi termica, attraverso l'individuazione delle zone di elasticità e la creazione di una mappatura delle aree tangibili (traspirazione, protezione, miglioramento della visibilità). È stata quindi riprodotta un'analisi termica del corpo umano sulla mesh di studio seguendo la mappa "Body sweat patterns in make elite athletes" analizzata dalla Loughborough University. È stato quindi scritto un codice che simula le zone di calore nel corpo usando un sistema di

03 Parti del corpo che presentano situazioni critiche durante l'attività fisica

attrattori su mesh per individuare le zone interessate, con un gradiente colorico rappresentato dal colore rosso dove le temperature sono più alte, verde dove sono più basse e in giallo/arancione per i valori intermedi. La seconda simulazione riguarda le zone del corpo umano dove i tessuti hanno bisogno di più elasticità in quanto soggette a movimento, torsione, sfregamento. Anche in questo caso si è applicata una logica di attrattori e di gradiente di colore per evidenziare le zone interessate, dove rossa è la zona con una percentuale alta di movimento e blu la zona dove il movimento è minimo o quasi nullo: in questo caso i giunti delle articolazioni necessitano di maggiore elasticità mentre gli arti di un valore minore o nullo.

Le informazioni raccolte sono state poi convogliate nella mappatura definita Tangible map. Le zone in cui gli agents provocheranno un'azione di addizione sono quelle in colore rosso, dove vi è la necessità di proteggere le parti sottostanti, mentre quelle di colore blu sono le zone di sottrazione dove la body suit presenta zone di traspirazione, e quindi di apertura, per una migliore performance. Le zone



04 Tangible map, mappatura delle performance da ottimizzare per il design di una body suit

04

77



78

verdi che risultano essere le aree interstiziali sono state utilizzate per il parametro di visibilità durante scenari di bassa condizione di illuminazione dell'ambiente e quindi di pericolo per l'utente che pratica attività fisica all'aperto. In zone in cui dovesse trovarsi la necessità di entrambe le opzioni si procederà nell'unire le due zone tramite un effetto gradiente, cioè passando dalla traspirazione alla protezione scalando le geometrie fino ad annullarsi sul bordo contiguo delle due zone prese in esame [fig. 04].

Swarm system behaviour

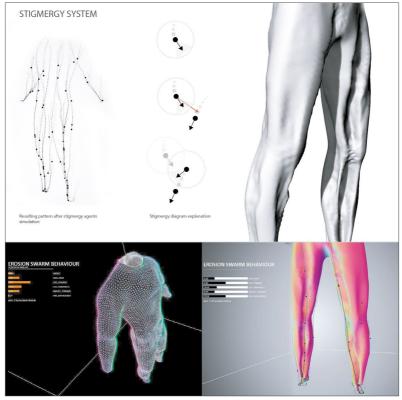
Il workflow, dopo l'analisi del comportamento del corpo umano, si è concentrato sull'azione di simulazione di agents secondo la teoria *swarm intelligence*, un termine (traducibile come: intelligenza dello sciame) coniato per la prima volta nel 1988 da Gerardo Beni, Susan Hackwood e Jing Wang in seguito a un progetto ispirato ai sistemi robotici. Essa prende in considerazione lo studio dei

05 Agent based ruled system, leggi di comportamento in un sistema di agents

sistemi auto-organizzati, nei quali un'azione complessa deriva da un'intelligenza collettiva, come accade in natura nel caso di colonie di insetti o stormi di uccelli, come anche branchi di pesci o mandrie di mammiferi. Secondo la definizione di Beni e Wang la swarm intelligence può essere definita come «proprietà di un sistema in cui il comportamento collettivo di agenti (non sofisticati) che interagiscono localmente con l'ambiente produce l'emergere di pattern funzionali globali nel sistema» [2].

Si è quindi analizzato un sistema Swarm behaviour (traducibile come: comportamento sciame), che è un comportamento collettivo tipico di particolari animali i quali si aggregano tra loro per raggiungere lo stesso punto o per muoversi in massa verso una direzione. Lo swarm beahviour è stato per la prima volta simulato da Craig Reynolds con un computer nel 1986 tramite un programma simulativo chiamato boids. Questo programma simu-

06 Stigmergy system, applicazioni di un sistema stigmergico su un modello 3d di corpo umano ed effetti dell'erosione degli agents

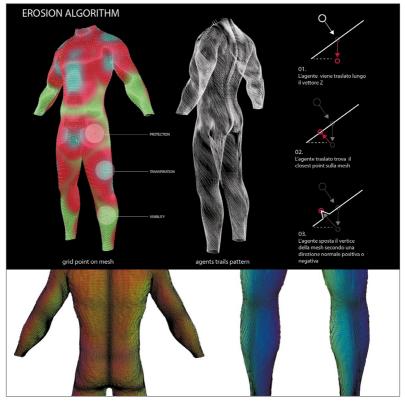


06

la semplici agenti (boids) che si muovono secondo un set di regole base. Le tre regole base che si sono analizzate sono la separazione, l'allineamento e la coesione. La separazione serve per evitare la collisione con gli agents vicini, l'allineamento permette agli agenti di disporsi secondo una stessa direzione e la coesione permette la formazione di gruppi di agents procedendo verso il centro di gruppi di agents circostanti [fig. 05].

Si è riprodotto quindi un codice in linguaggio Java usando il software Processing, software sviluppato da Ben Fry e Casev Reas, ricercatori del MIT nel 2001 e in seguito affiancati da Daniel Shiffman, Associate Arts Professor all'Interactive Telecomunications Program del NYU's Tisch School of the Arts. Nel codice è stata implementata un'interfaccia per scegliere i valori di dimensione e del numero degli agents, l'effetto fading delle tracce lasciate dal movimento degli stessi agents, i valori di coesione, separazione e allineamento.

Erosion algorithm, applicazione di un algoritmo gradient descent e di erosione sul modello 3d di un corpo umano



D. Del Giudice

Lo studio di questa simulazione di comportamenti per elementi appartenenti a una specie ha portato al risultato di pattern che mostrano tracce degli agents raggruppate in alcune zone del sistema. Lo scopo di questa analisi è stata lo studio di pattern di raggruppamento per poter in seguito applicare questi risultati alla mesh della body suit tramite l'algoritmo di erosione. In ultimo è stato applicato un codice che simula la *stigmergia* [3], un metodo di comunicazione utilizzato nei sistemi decentralizzati col quale gli individui del sistema comunicano fra loro modificando l'ambiente circostante. La stigmergia è stata osservata inizialmente in natura; per esempio, le formiche comunicano le une con le altre lasciando una traccia di feromoni, quindi una colonia di formiche è un esempio di sistema stigmergico [fig. 06].

Algoritmo Erosione: Gradient Descent e Mesh Vertex displacement

Il fenomeno fisico dell'erosione si produce attraverso due fasi: la prima è il distacco dal suolo del materiale, la seconda è il trasporto della materia erosa. Quando l'energia disponibile per il trasporto non è più sufficiente interviene una terza fase, che è quella del deposito. In questa fase verranno analizzati l'algoritmo di erosione e l'algoritmo Gradient Descent.

L'algoritmo creato che simula l'azione erosiva di particles (agents) su un terreno (mesh body suit) è stato schematizzato in azione di erosione, cioè depressione dei vertici della mesh, per le zone di traspirazione e azione di deposito, innalzamento dei vertici della mesh, per le zone di protezione [fig. 07].

I punti sorgente sono dei punti di coordinate x,y,z che giacciono sulla mesh e si trovano nelle aree contrassegnate con verde, ciano e rosso della mesh con applicata la *tangible map*. I punti sorgenti saranno il luogo di inizio del percorso della particle che scivolerà sulla mesh e agirà sui vertici erodendo o depositando a seconda della zona della mesh in cui si trova.

Il worflow è il seguente: inizializzazione della mesh e selezioni dei punti sorgente degli agents da dove partirà l'azione di erosione/deposito; calcolo del *closest point* tra il punto sorgente e i vertici della mesh; traslazione del vertice della mesh lungo la normale; aggiornamento della mesh; loop del processo fino ad un numero di iterazioni scelte dall'utente. Questo processo viene definito algoritmo Gradient Descent, l'agente/particle scansiona i vertici circostanti trovando il percorso più ripido e prosegue il suo percorso. L'agente preso in esame seguirà contemporaneamente il percorso intrapreso da un agente che

81





08

Body suit, risultato del processo generativo

09

Material setting out, prototipo di una porzione della body suit. Si evidenziano gli strati di protezione, di visibilità e traspirante

precedentemente è già passato in quella zona sommando il suo contributo di erosione/deposito percorrendo un percorso comune. Dato l'elevato numero di vertici della mesh il workflow è stato suddiviso in sedici cicli fino ad ottenere la mesh finale. Possiamo quindi fare un confronto con l'effetto di stigmergia calcolato precedentemente; i risultati sono molto simili, ma nel caso dell'erosione simulata in grasshopper, l'effetto finale è più esaustivo. L'azione coordinata e comune di più agenti porta ad un risultato solido e di effetto.

Descrizione Body suit e prototipo

La body suit è stata pensata come un possibile prodotto per il mercato dello sport, utilizzando materiali come il polyestere e l'elastam, già utilizzati nella body suit della Nike Areoflot Hyperadapt Crew (2016) [fig. 08]. Le caratteristiche del prodotto analizzato sono il miglioramento delle performance di isolamento dagli agenti atmosferici



tramite l'inserimento di una *thermal mesh* e la traspirabilità dei tessuti per un comfort ottimale durante le attività di workout all'aperto.

L'attività di workout durante l'alba o al crepuscolo è migliorata tramite l'inserimento di dettagli catarifrangenti [fig. 09].

Per le parti da proteggere – ovvero le zone classificate come deposito – si è pensato all'utilizzo della tecnologia D3O°, incorporata nel tessuto. D3O° usa una tecnologia brevettata per migliorare la flessibilità e le propietà di assorbimento degli urti. La tecnologia è basata sul principio non-Newtoniano dove nella forma grezza le molecole del materiale scorrono libere, permettendo al tessuto di essere morbido e flessibile e, al momento dell'impatto, di connettersi insieme e dissipare l'energia di impatto riducendo la forza trasmessa. D3O° è un polimero mixato che ha come proprietà specifiche la temperatura stabile, resistenza all'abrasione e flessibilità.

Conclusioni

Il sistema naturale proposto si fonda sull'interdipendenza, interconnessione e cooperazione degli agents, come tutti i processi che sono alla base dei sistemi viventi [fig. 10]. È interessante notare come il pattern finale degli agents che simulano l'erosione/deposito sia simile ai tatuaggi facciali della popolazione Maori. Il corpo umano è stato forse la prima superficie di applicazione dei pattern con funzioni decorative, di valorizzazione, camuffamento, identificazione totemica, differenziazione semiotica o combinazioni di esse; ciò ci suggerisce che già in passato i pattern siano stati importanti durante la storia dell'evoluzione dell'uomo. Nel caso studio preso in esame i pattern emergenti sono di tipo performante e di valorizzazione delle qualità estetiche e intrinseche dei materiali.

La prototipazione rapida alla scala reale di una porzione della body suit è importante per capire la consistenza dello studio e per poter fare un'analisi dimensionale delle performance su materiali reali già usati nell'industria degli indumenti sportivi.

I concetti di miglioramento delle performance e di simulazione di sistemi naturali potrebbero essere proposti a brand che si occupano della produzione di body suit sportive per le attività di workout all'aperto, dove gli agenti atmosferici e le condizioni di "discomfort" di luce naturale possono scoraggiare l'utente a praticare sport.



CREDITI

Il codice del multi agents system in Processing presentato nell'articolo è stato scritto da Tommaso Casucci con la collaborazione di Alessandro Zomparelli e Alessio Erioli, durante la summer school dell'Architectural Association di Londra in Giordania, ed è stato adattato e implementato per la simulazione su una mesh rappresentante un corpo umano.

I restanti codici e simulazioni illustrate sono prodotte dall'autore e fanno parte di un percorso di ricerca sperimentale nato con il workshop Encoded Fashion (London, UK, 2015) e il concorso RESHAPE 15 (IAAC Institute of Advanced Architecure Catalunia, 2015), durante la progettazione della Bolero Jacket Hydra, dove si è applicato un custom Python code per la simulazione di un pattern che riprende le morfologie e le performance estetiche della pelle di un rettile.

10 Resulting pattern, comparazione dei pattern risultanti con pattern della popolazione Maori

NOTE

86

[1] Agent based systems: un Agent based system simula le azioni e le interazioni di agenti autonomi (sia soggetti individuali che collettivi come organizzazioni o gruppi) al fine di valutare i loro effetti sul sistema nel suo complesso.

Il problema centrale nella progettazione di un sistema multi agente è definire quanta intelligenza è da pianificare nel sistema e a quale livello. È un'autorità centrale che crea e dirige i comportamenti del gruppo o sono i comportamenti globali che emergono dalle interazioni dei singoli agenti? Quanto complesso deve essere il comportamento di un agente? La maggior parte del lavoro svolto in questo campo è concentrato nel creare agenti con maggiore conoscenza e abilità. Questo è stato ottenuto dando agli agenti una profonda conoscenza di base e abilità nel ragionare sui dati, pianificare le azioni, negoziare con gli agenti o cambiare strategia in risposta alle azioni degli altri agenti. È stato ampiamente riconosciuto come in fisica e in biologia le attività globali sono il risultato di semplici interazioni locali. In aggiunta al fatto che questi sistemi possono prevedere i comportamenti: le analisi matematiche permettono al designer di ottimizzare le performance del sistema stesso.

[2] Maurice Maeterlinck, Swarm intelligence. https://www.lswn.it/robotica/swarm-robotics/ [Maggio 2017]

[3] Stigmergia: la stigmergia è un meccanismo di comunicazione indiretto che permette lo scambio di informazioni tra soggetti diversi attraverso l'interazione con un ambiente comune. Paul Grasse, zoologo francese, interessato dal modo in cui le termiti organizzano la costruzione dei termitai, dedusse un principio fondamentale che denominò stigmergia. Questo termine serve a descrivere il meccanismo di comunicazione indiretta che sussiste tra la struttura e l'agente (la termite). La semplicità della termite comparata alla complessità dei termitai, sia dal punto di vista formale che funzionale, portarono Grasse a definire un primo algoritmo che se iterato potrebbe generare strutture come quelle osservate. Le fasi da lui descritte si riassumono in:

- le termiti costruiscono un mucchio di materiale che cresce verticalmente
- se due colonne di materiale si trovano in una certa soglia di prossimità allora vengono fuse
- l'esito della fusione è un singolo oggetto che prosegue nella crescita.

La principale questione di interesse ricade su come elementi semplici senza un'organizzazione centrale siano in grado di adattarsi all'ambiente e di auto organizzarsi al fine di sopravvivere. Comprendere le regole e i meccansimi è il primo passo per poter tradurre in digitale questi comportamenti per poi applicarli in diversi campi a seconda della problematica che si intende risolvere.

REFERENCES

Barrie Andrew, Choochuey Rachapron, Mirti Stefano, *Toyo Ito, Istruzioni per l'uso*, Milano, Postmedia books, **2004**, pp. 109.

Schumacher Patrik, "Parametric patterns", AD Architectural Design, vol. 79, n. 6, 2009, pp. 28-41.

Smith Caroline J., Havenith George, "Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced hyperthermia", in *European Journal of Applied Physiology*, n. 111, **2011**, pp. 1391-1404.

Pantic Igor, Hahm Soomeen, "Isomorphic Agency, a digital environment for agent based modeling", in Ikeda Y., Herr C. M., Holzer D., Kaijima S., Kim. M. J., Schnabel A. (a cura di.), "Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture", Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2015. 2015.

Smith Robert Stuart, "Behavioural Production, Autonomous Swarm-Constructed Architecture", *AD Architectural Design*, vol. 86, n. 2, **2016**, pp. 54-59.

Bettucchi Eugenio, *Behavioral Builder. Iterative robotic deposition based on stigmergic feedback*, Tesi di laurea, relatore Erioli Alessio, correlatori Sollazzo Aldo, Scarcia Umberto, Università di Bologna, Corso di Ingegneria Edile-Archtiettura, **2016**, pp. 162.

Shiffman Daniel, The nature of code, simulating natural system with Processing. http://natureofcode.com/book/chapter-6-autonomous-agents/ [Aprile 2017]

Shah Ashwin, Salcedo Paola, Mulia Wandy, Shi Yue, *EROSION*, behavioural matter studio. https://issuu.com/paola.salcedo/docs/erosion.aadrl [Aprile 2017]

Lerman Kristina, Design and Mathematical Analysis of Agentbased Systems. https://www.isi.edu/~lerman/papers/FMW.pdf [Aprile 2017]