

**Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia**

*Facoltà di Scienze della Comunicazione e dell'Economia*

Corso di Laurea Specialistica in Economia e Gestione delle Reti e dell'Innovazione

Insegnamento:

**Tecniche e Modelli di Simulazione**

Prof. Marco Villani

Anno Accademico 2004/05

# **Il modello “Sugarscape”**

Relazione a cura di:

Chiara Damiani (matr. 10883)

Fabio Ruini (matr. 7496)

1.	Introduzione .....	3
2.	Idee e regole del modello .....	4
3.	Esempio di funzionamento .....	6
4.	Capacità portante .....	11
5.	Agenti con durata temporale finita .....	12
6.	Riproduzione sessuata.....	19
7.	Alcuni esperimenti sulla riproduzione sessuata.....	27
7.1.	Primo esperimento .....	28
7.2.	Secondo esperimento .....	33
7.3.	Terzo esperimento.....	37
7.4.	Quarto esperimento .....	40

## ***1. Introduzione***

Effettuando innumerevoli astrazioni e semplificazioni è possibile simulare il comportamento di un fenomeno di nostro interesse. Il fenomeno che intendiamo analizzare è il comportamento di una specie vivente: sopravvivenza, riproduzione, adattamento e distribuzione della ricchezza. In particolare, astraendo il comportamento di una specie vivente, vogliamo verificare l'operare della selezione naturale darwiniana.

Per la nostra simulazione è sufficiente avere una specie vivente fittizia purché presenti le caratteristiche salienti delle specie viventi.

Nel caso specifico, i nostri essere viventi sono delle formiche che abitano un mondo di zucchero che chiameremo 'Sugarscape'. Lo zucchero è l'unica risorsa limitata per cui esse competono.

Nel corso dell'elaborato illustreremo i risultati di diversi esperimenti e andremo man mano a complicare il funzionamento del nostro mondo immaginario.

Dopo aver spiegato le regole che stanno alla base del modello (capitolo 2), nel capitolo 3 illustreremo il risultato della nostra prima simulazione. Nella prima simulazione i nostri agenti, ossia le formiche, non sono in grado di riprodursi e muoiono solo per esaurimento della loro energia. I risultati dell'esperimento illustrati nel capitolo 5 sono invece ricavati da uno Sugarscape nel quale gli agenti invecchiano, muoiono di vecchiaia e si riproducono per riproduzione asessuata. Arriveremo infine nel capitolo 6 ad un modello in cui gli agenti si riproducono per riproduzione sessuata. Quest'ultimo modello presenta tutte le caratteristiche salienti della realtà e possiamo dunque vedere in azione l'operatore della selezione naturale.

## 2. Idee e regole del modello

Il mondo all'interno del quale vivono gli agenti, lo Sugarscape, è rappresentato da una matrice di dimensioni  $N \times M$ . Nelle nostre simulazioni, assumeremo che questi due valori corrispondano entrambi a 50. La matrice risultante è quindi formata da  $50 \times 50 = 2'500$  celle. Queste celle non sono tutte uguali tra di loro. Ciascuna di esse è infatti caratterizzata da una quantità massima di zucchero che è in grado di contenere al suo interno. Tale quantità limite è compresa tra i valori 1 e 4 e rimane sempre costante nel corso dell'evoluzione del sistema.

Con un piccolo sforzo di immaginazione possiamo pensare allo Sugarscape come ad un terreno, caratterizzato da zone pianeggianti (quelle con portata massima 1) ed altre via via più montuose (portata massima 2, 3 e 4). Il panorama è stato volutamente disegnato in modo tale da rappresentare un mondo in prevalenza pianeggiante, dove esistono però due colline tra loro non adiacenti.

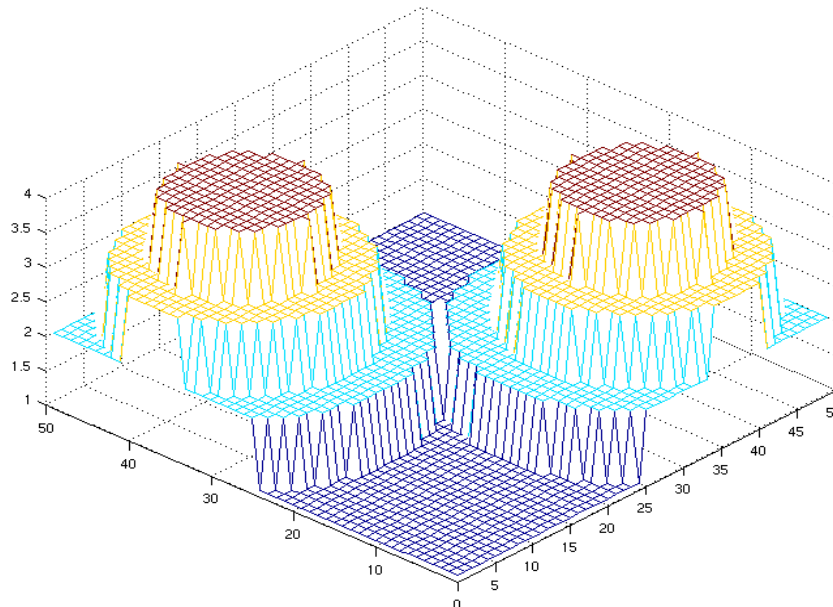


Figura 1

Questo mondo virtuale, infine, non è toroidale. Ciò significa che gli agenti non possono muoversi lungo la matrice come se le caselle situate su lati opposti fossero tra loro adiacenti.

Per quanto concerne gli agenti che popolano lo Sugarscape, essi sono caratterizzati da alcune proprietà fisse:

- **metabolismo:** corrisponde al numero di unità di zucchero che l'agente deve consumare, ad ogni step temporale, per sopravvivere. Ad ogni agente viene attribuito casualmente un valore di metabolismo compreso tra 1 e 5.
- **vista:** corrisponde alla capacità visiva dell'agente. La capacità visiva di un'agente è in relazione diretta con la sua capacità di movimento: esso è infatti in grado di spostarsi, con un unico movimento, in qualsiasi cella che è in grado di vedere (a patto che questa non risulti già occupata da un altro agente). Ad ogni agente viene attribuito casualmente un

valore di capacità visiva compreso tra 1 e 6.

Ciascun agente dispone inoltre di una proprietà variabile, ossia la propria scorta di zucchero, potenzialmente illimitata, e che si attesta inizialmente sul valore di 10 unità.

Al momento della creazione del sistema, gli agenti vengono collocati in coordinate dello Sugarscape determinate casualmente. In seguito, essi si muoveranno invece secondo regole ben precise. Ad ogni step temporale, infatti, vengono selezionati in maniera random e sequenziale  $n$  agenti (dove  $n$  corrisponde al numero di agenti presenti nel sistema in quel determinato istante) e li si costringe ad effettuare un movimento. Questo, dunque, non ci garantisce che ad ogni step tutti gli agenti si sposteranno (al contrario, ciò è piuttosto improbabile), ma fa sì che alcuni agenti “fortunati” possano raccogliere molto più zucchero rispetto agli altri nel corso di un singolo passo evolutivo del sistema. Per rendere più semplice, a livello software, l'individuazione del miglior movimento possibile, gli spostamenti degli agenti avvengono in maniera asincrona. Ogni agente selezionato per il movimento “guarda” nelle quattro direzioni (non è previsto lo spostamento in diagonale) ed individua la cella nella quale gli è più conveniente spostarsi: quella non occupata nella quale è presente la maggior quantità di zucchero. Nel caso in cui esistano due o più celle libere e “a portata di vista” dell'agente, la scelta tra l'una e l'altra destinazione diventa casuale.

Può accadere che un agente sia impossibilitato a muoversi (ad esempio se la sua capacità visiva è 1 e tutte le celle ad esso adiacenti sono occupate). In questo caso esso rimarrà fermo nella sua posizione corrente e la sua mossa sarà considerata “sprecata” (in sostanza, verrà considerata dal programma come un movimento, anche se non vi è stato effettivamente un movimento).

Una volta che l'agente si è spostato in una nuova cella, esso procederà alla raccolta di tutto lo zucchero ivi presente, aggiungendolo alle proprie scorte personali. Da notare che gli agenti che non hanno avuto l'opportunità di muoversi non raccoglieranno nulla.

Successiva alla fase di raccolta vi è quella di consumo. Come accennato in precedenza, ad ogni step temporale (ed indipendentemente dal fatto che si sia mosso o meno) ciascun agente deve consumare una quantità di zucchero pari al suo metabolismo per poter sopravvivere.

Sottratta alle proprie scorte la quantità di zucchero corrispondente al metabolismo, ogni agente verrà esaminato dall’“angelo della morte”, che controllerà l'ammontare delle scorte residue. Se tale valore risultasse uguale o inferiore a 0, allora l'agente verrà “ucciso” (ossia, eliminato dal sistema).

Eliminati gli agenti impossibilitati a sopravvivere, lo Sugarscape farà crescere lo zucchero presente al suo interno. Il contenuto di zucchero di ogni cella verrà aumentato di una unità, a meno che esso non sia già pari alla quantità massima che essa è in grado di contenere. In tal caso, la quantità di zucchero della cella rimarrà immutata.

### 3. Esempio di funzionamento

Popoliamo, a titolo di esempio, il nostro sistema con 500 agenti, lo facciamo evolvere per 300 passi e osserviamo come si comportano gli agenti, vediamo che, passo dopo passo, essi tendono a diminuire come numero e ad agglomerarsi sulle collinette.

Osserviamo nella figura sottostante come varia lo spazio dalla situazione iniziale all'ultimo passo:

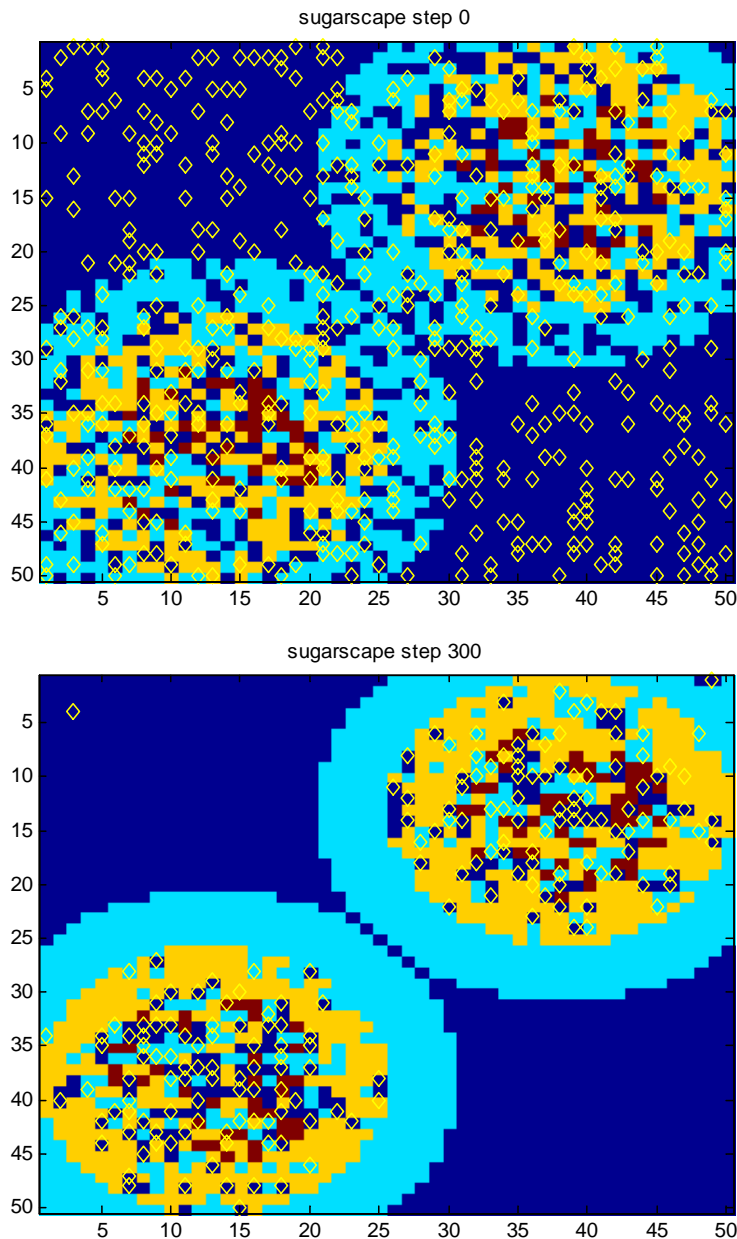


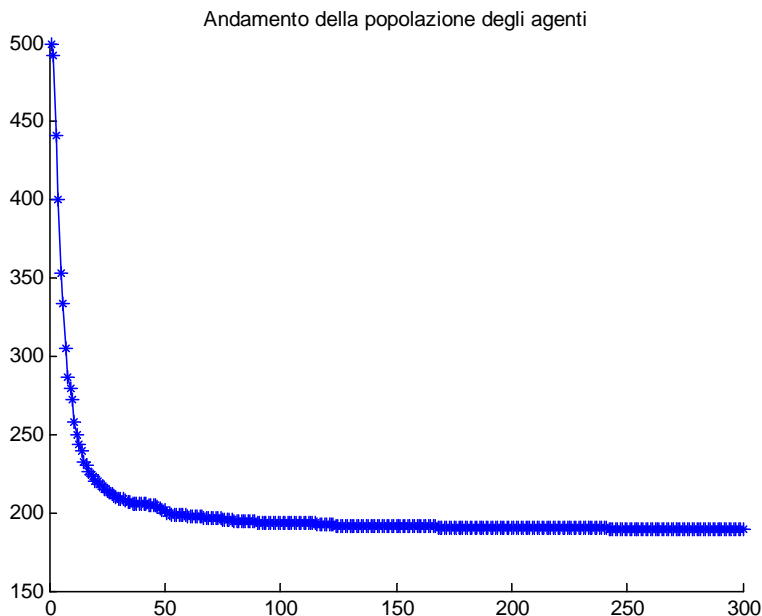
Figura 2

Le diverse colorazioni dello sfondo indicano diverse quantità di zucchero. La distribuzione di zucchero iniziale è stabilita in modo casuale prestando attenzione a non superare le quantità massime stabilite per ogni cella e corrispondenti alla conformazione a doppia collina del mondo (sugarscape). Per il nostro esperimento abbiamo posizionato le cime delle due colline nelle coordinate (13,38) e (38,13).

Entrambe hanno larghezza 15 e altezza massima 4.

Gli agenti sono invece rappresentati dai diamantini. Si vede come all'ultimo passo essi siano tutti concentrati nelle zone con maggiore capacità di contenere zucchero e come il loro numero sia diminuito.

Analizziamo nel grafico sottostante come il numero degli agenti si sia modificato nel corso dell'evoluzione del sistema.



**Figura 3**

Ad una repentina discesa iniziale, segue una stabilizzazione asintotica degli agenti. Come si vede in dettaglio nella tabella 1 nell'appendice il numero di agenti si stabilizza a 189 dopo 242 passi.

E' abbastanza ovvio che gli agenti che rimangono siano mediamente più ricchi rispetto ai periodi precedenti in cui il mondo era popolato di un maggior numero di agenti. Essi possono ora muoversi più liberamente e hanno meno competizione per l'occupazione delle celle più colme di zucchero. Il grafico sottostante dimostra come la ricchezza media sia crescente, così come la ricchezza massima. Insieme alla media cresce anche la mediana, si mantiene dunque stabile la proporzione di agenti aventi ricchezza al di sotto e al di sopra della media. Essa è inoltre molto simile alla media, la proporzione di agenti sopra la media è dunque pressoché uguale a quella di quelli al di sotto. Abbastanza intuitivamente la ricchezza minima rimane invece costante.

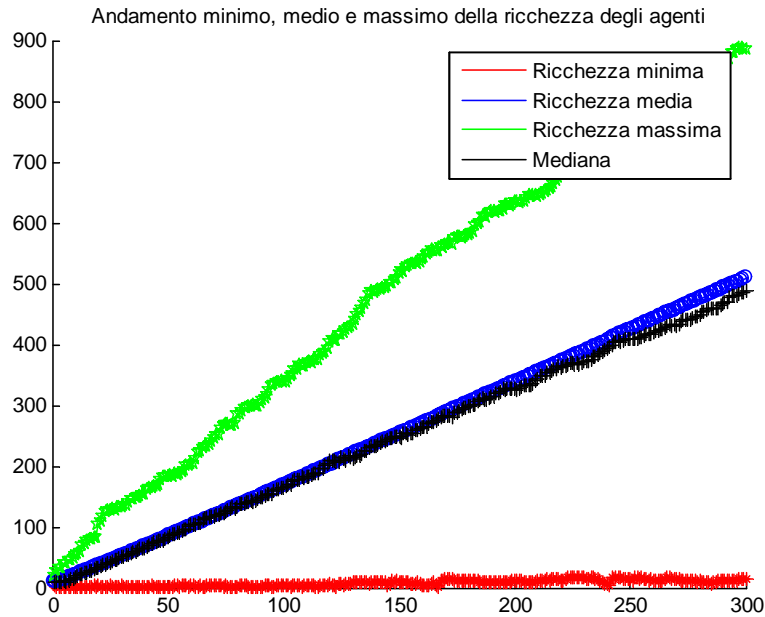


Figura 4

Potremmo affermare che la ricchezza sia direttamente proporzionale al tempo e quindi al numero di agenti. In realtà la ricchezza media continua a crescere anche successivamente allo stabilizzarsi del numero degli agenti. Questo fenomeno potrebbe essere spiegato dal fatto che il sistema favorisce la sopravvivenza degli agenti con vista elevata e metabolismo basso. In particolare con una differenza tra i due parametri superiore alla quantità massima di zucchero presente in una cella. Questi ultimi agenti sono dunque in grado di raccogliere più di quello che consumano accrescendo continuamente la loro ricchezza.

Tale supposizione è sostenuta dall'andamento medio del metabolismo e della vista degli agenti. E' possibile infatti vedere nel grafico sottostante come la vista cresca al decrescere del numero degli agenti e si stabilisca anch'esso con lo stabilizzarsi del numero degli agenti, intorno al settantesimo passo. Il metabolismo presenta invece il comportamento esattamente opposto.

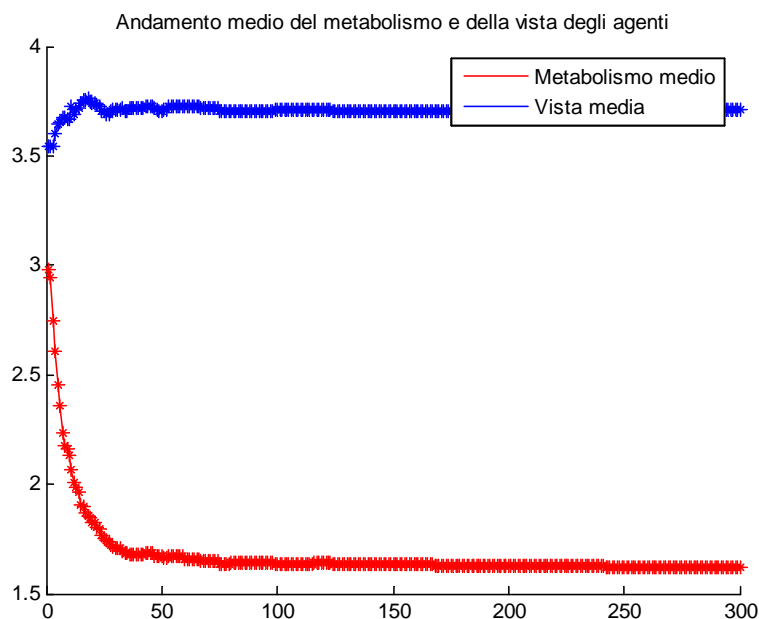
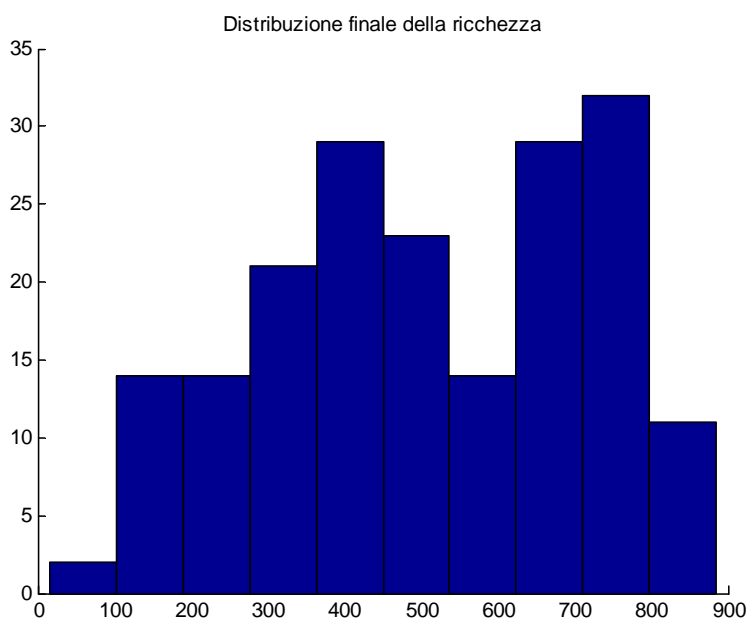


Figura 5

E' interessante infine studiare la distribuzione finale della ricchezza. L'istogramma in figura 5 lascia intravedere una distribuzione pressoché a campana degli agenti ossia in cui la maggior parte degli agenti presenta una ricchezza media. Tuttavia ci sono anche numerosi agenti che hanno una ricchezza superiore alla media. Si presume che essi siano coloro che si trovano sulle cime delle collinette o che hanno metabolismo e vista largamente favorevoli. Sono molto pochi invece gli agenti aventi ricchezza minima ed è facile dedurre che siano coloro che sono rimasti al di fuori delle collinette. Nel nostro caso ne è rimasto infatti solamente uno totalmente al di fuori.



**Figura 6**

Ripetendo l'esperimento descritto più volte si assiste sempre alla stessa dinamica di stabilizzazione degli agenti: dopo un modesto numero di passi essi rimangono costanti nella quantità e i loro spostamenti rimangono circoscritti alla cima di ciascuna collinetta. Vediamo nella tabella 1 in appendice il numero di agenti finali in 100 diversi tentativi.

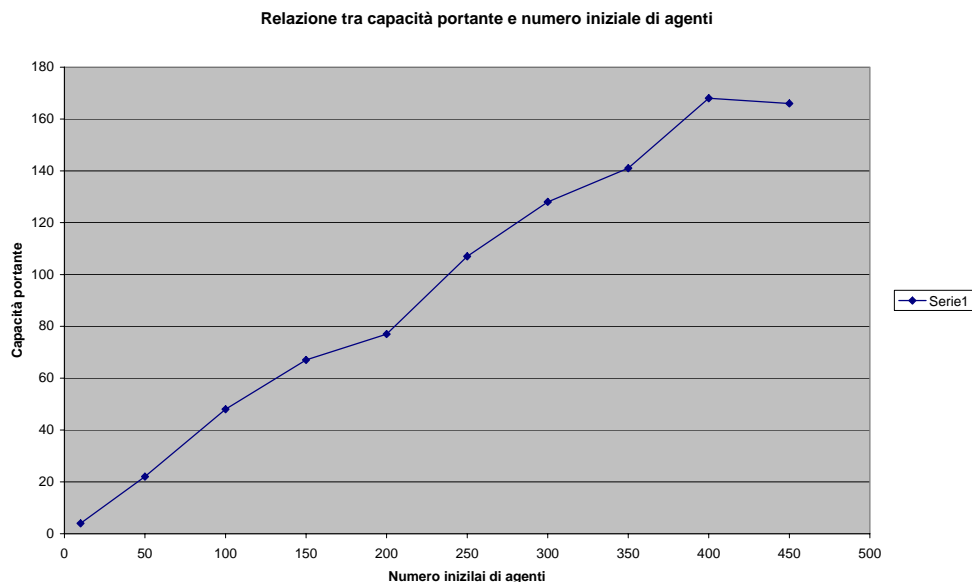
Il numero medio di agenti finali nei 100 esperimenti è di 190,25 con deviazione standard pari a 8,866433.

Questi risultati empirici potrebbero portarci alla conclusione che il nostro sugarscape, così funzionante, sia in grado di "nutrire" e garantire dunque l'esistenza solo a 190 agenti. Potremmo definire tale cifra come la "capacità portante" del nostro sistema. Per capacità portante intendiamo la quantità di agenti che sopravvive nello stato asintotico stabile, data una quantità iniziale fissa degli agenti stessi.

Analizziamo il comportamento del sistema con i medesimi parametri, ma in presenza di diverse quantità di agenti iniziali. Nella tabella sottostante riportiamo il numero di agenti finali risultante da esperimenti con diverse condizioni iniziali.

Numero iniziale di agenti	Numero finale di agenti
10	4
50	22
100	48
150	67
200	77
250	107
300	128
350	141
400	168
450	166

Rappresentiamo la relazione tra i due valori nel grafico sottostante. Nonostante il numero di osservazioni sia esiguo per poter dedurre delle inferenze, è abbastanza nitida e lampante la proporzionalità diretta tra numero di agenti iniziali e capacità portante del sistema. La regressione lineare stima infatti una capacità portante pari 0,382788 volte il numero di agenti iniziali.



**Figura 7**

Partendo con quantità iniziali differenti di agenti comprese tra 1 e 400 non si ottengono dunque risultati simili. Non si può dunque supporre che la capacità portante sia in funzione del tipo di terreno. Se così fosse dovrebbero sopravvivere 180 agenti anche partendo ad esempio da 300 agenti. Ne sopravvivono così tanti solo aumentando gli agenti iniziali a 500. Si potrebbe dunque ipotizzare che la capacità portante dipenda dal tipo di agente. Con molti agenti si ha un ventaglio maggiore di tipi di agenti che permette di scremarli in modo da lasciare in vita solo quelli più 'adattivi'. Assumiamo che i fattori determinanti ai fini della sopravvivenza di un agente sono la sua abilità di vista e il suo metabolismo. Nel prossimo capitolo cercheremo di verificare le ipotesi che la capacità portante dipenda o dalla vista o dal metabolismo o da entrambi i parametri.

#### 4. Capacità portante

Per verificare l'ipotesi che la capacità portante dipenda da vista e metabolismo medio dobbiamo supporre che tutti gli agenti abbiano una data vista e un dato metabolismo anziché avere tali parametri assegnati in modo casuale. In questo modo possiamo vedere come cambia la capacità portante al cambiare dei due parametri. Popoliamo sempre il nostro mondo con 500 agenti e vediamo come si comporta per ogni combinazione possibile di metabolismo e vista. Il metabolismo varia sempre da 1 a 5 mentre la vista da 1 a 10.

Per ogni combinazione facciamo evolvere il sistema per un numero di passi idoneo a far sì che il numero di agenti si stabilizzi. Utilizzeremo 1200 passi. Ripeteremo lo stesso esperimento 3 volte.

Così facendo riusciamo ad avere una fonte dati sufficientemente ampia per potere analizzare la correlazione tra la capacità portante e i due parametri. Per ogni riga della tabella 3 in appendice riportiamo il metabolismo e vista usati nell'esperimento e la risultante capacità portante. La ridondanza delle combinazioni dei due parametri permette di stimare in modo più preciso la correlazione.

Per avere un riscontro visivo dell'eventuale correlazione, tracciamo un grafico che rappresenta il variare della capacità portante del sistema in funzione dei valori medi di vista e metabolismo degli agenti.

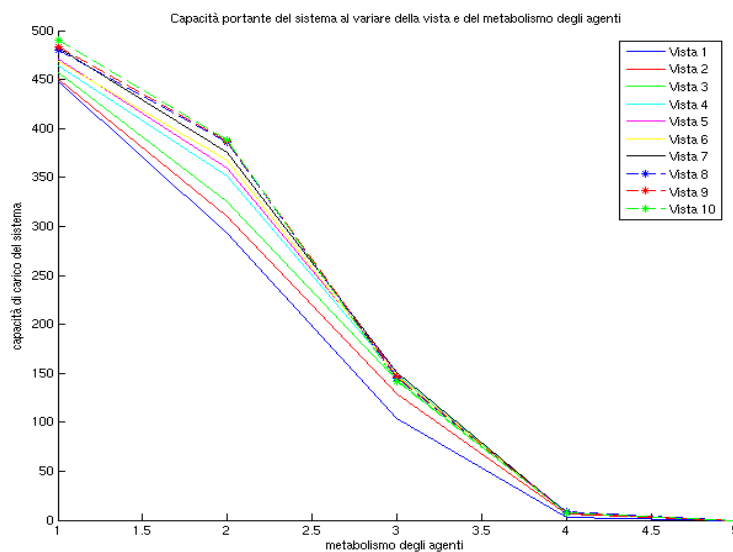


Figura 8

Come facilmente prevedibile a priori, dal grafico balza all'occhio la relazione tra metabolismo e capacità portante: indipendentemente dall'abilità visiva degli agenti, all'aumentare del metabolismo diminuisce la capacità portante in modo inversamente proporzionale.

La relazione capacità portante-metabolismo presenta lo stesso identico andamento per ogni valore della capacità visiva, l'unica variante è la posizione della curva: all'aumentare della vista, la curva viene traslata verso l'alto per l'ovvio motivo che valori di vista maggiori permettono di raggiungere capacità portanti mediamente più elevate.

Potrebbe essere interessante stimare una regressione lineare multivariata con variabile indipendente la capacità portante e variabili dipendenti vista e metabolismo. La funzione *regress* di matlab stima i seguenti coefficienti per le due variabili rispettivamente: 44,426 e -37,031.

Sarebbe dunque e in via ipotetica possibile, conoscendo metabolismo e vista media, stimare la capacità portante del sistema utilizzando la seguente equazione:

$$\text{capacità portante} = 44,426 * \text{vista\_media} - 37,031 * \text{metabolismo\_medio}$$

Le nostre supposizioni sono dunque dimostrate anche matematicamente. La vista media ha un coefficiente positivo che fa crescere in modo direttamente proporzionale la capacità portante, viceversa il metabolismo medio ha un coefficiente negativo.

## **5. Agenti con durata temporale finita**

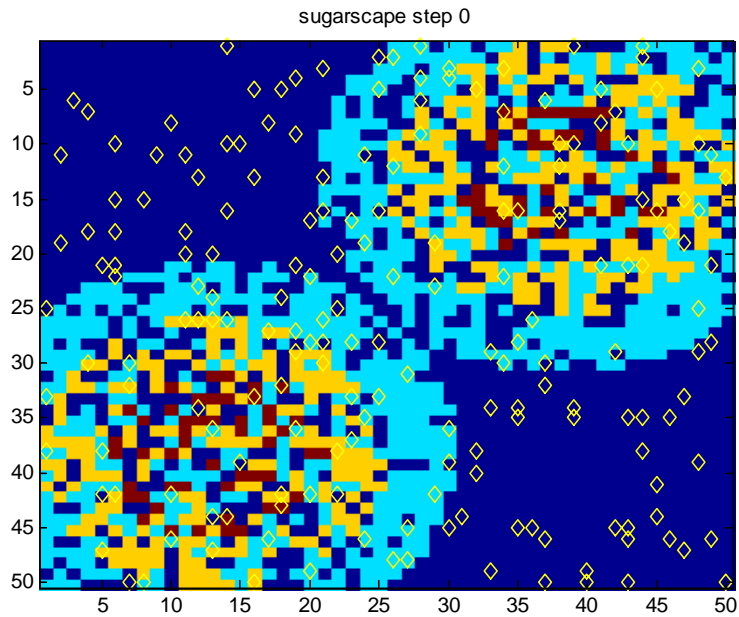
Possiamo ora iniziare ad operare varie modifiche al modello che abbiamo analizzato fino a questo momento. La prima variante dello Sugarscape sulla quale ci concentreremo presenta alcune caratteristiche che lo differenziano in maniera rilevante rispetto all'originale.

Nel momento in cui viene creato il sistema, a ciascun agente sono associate un'età di partenza (scelta casualmente tra 0 e 60) e l'età massima che potrà raggiungere, calcolata in maniera random all'interno del range 60-100. Ogni agente è caratterizzato infine da un raggio visivo (compreso tra 1 e 6) e da un metabolismo (scelto nell'intervallo [1,5]) attribuiti in maniera casuale, nonché da una quantità di scorte di zucchero pari a 10.

Ogni volta che un agente muore (indipendentemente dal fatto che ciò sia dovuto all'esaurimento delle proprie scorte o al sopraggiungere della sua età di morte) esso viene rimpiazzato da un nuovo individuo. Le scorte in possesso dell'agente deceduto vengono distrutte ed il nuovo entrato inizia il suo percorso evolutivo con 10 scorte di zucchero e nuovi valori casuali per vista e metabolismo.

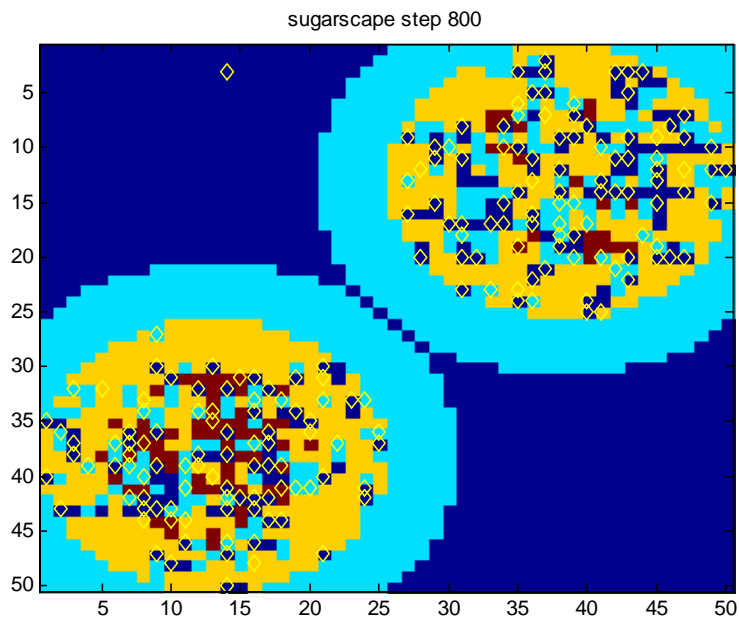
Essendo riusciti a stimare la capacità di carico del sistema (ossia il numero di agenti che il sistema stesso è in grado di mantenere nello stato asintotico stabile) possiamo utilizzare questo valore (approssimativamente uguale a 190) come numero di agenti che inizialmente inseriremo nella nostra variante dello Sugarscape.

Il sistema verrà fatto evolvere per 800 step, con gli agenti distribuiti inizialmente in maniera casuale, come mostra la figura qui sotto:



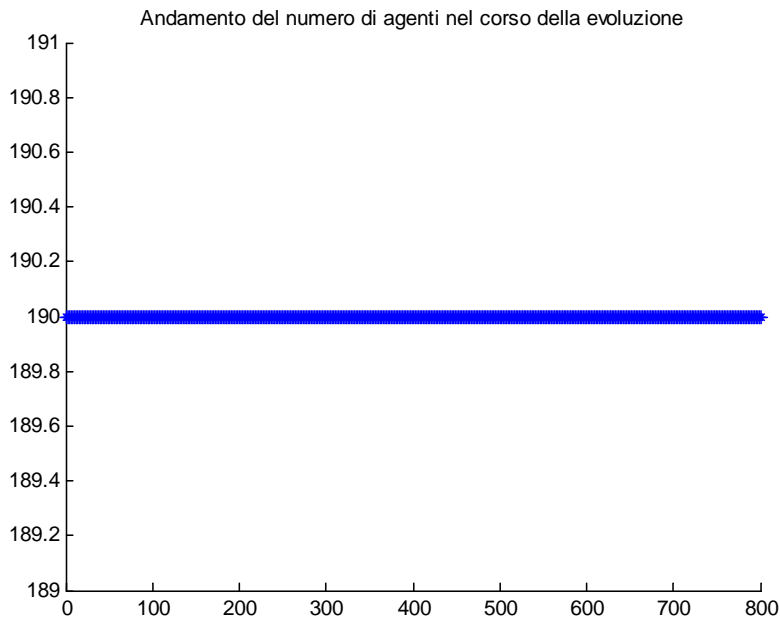
**Figura 9**

Al termine dell'evoluzione, ossia dopo gli 800 passi stabiliti, troviamo gli agenti affollati principalmente sulle collinette. Sfugge alla regola soltanto uno, caratterizzato da metabolismo 1, che a causa di un campo visivo abbastanza limitato continua a “bazzicare” per le zone pianeggianti dello Sugarscape.



**Figura 10**

Caratteristica principale del modello é, come già sottolineato, il fatto che gli agenti che esauriscono le proprie scorte o raggiungono l'età di morte, non vengono eliminati dal sistema, ma rimpiazzati con nuovi individui. Il numero di agenti presenti nel sistema resta dunque costante nel corso di tutti gli 800 step evolutivi, come mostra il grafico qui sotto:



**Figura 11**

Possiamo ora procedere nell'analisi dell'andamento della ricchezza interna al sistema.

Com'era prevedibile, visto il continuo ricambio generazionale, la ricchezza media degli agenti rimane pressoché costante per l'intera evoluzione. Stesso discorso per il valore mediano della ricchezza, che segue un andamento del tutto simile a quello della media, seppur traslato un po' più in basso nel grafico, per l'influenza dei numerosi agenti appena nati o in procinto di esaurire il proprio zucchero, presenti ad ogni step.

Anche la ricchezza minima rimane a sua volta costante. Questo perché è sufficiente che ad ogni step vi sia anche un solo agente prossimo all'esaurimento delle proprie scorte di zucchero, affinché la ricchezza minima del sistema si assesti su un valore vicino allo zero (nella maggior parte degli step evolutivi, questo valore risultava essere uguale ad 1).

La ricchezza massima presenta un andamento più turbolento rispetto alle altre variabili appena prese in considerazione, ma dà luogo anch'essa ad un trend sostanzialmente stabile. Osservando il grafico qui sotto, si può notare che la ricchezza massima presenta diversi picchi (presumibilmente agenti molto longevi, con metabolismo basso ed una vista che ha consentito loro di spostarsi sulle collinette, nel caso in cui non fossero nati direttamente lì), seguiti da repentini crolli (dovuta alla loro morte per raggiunto limite di età).

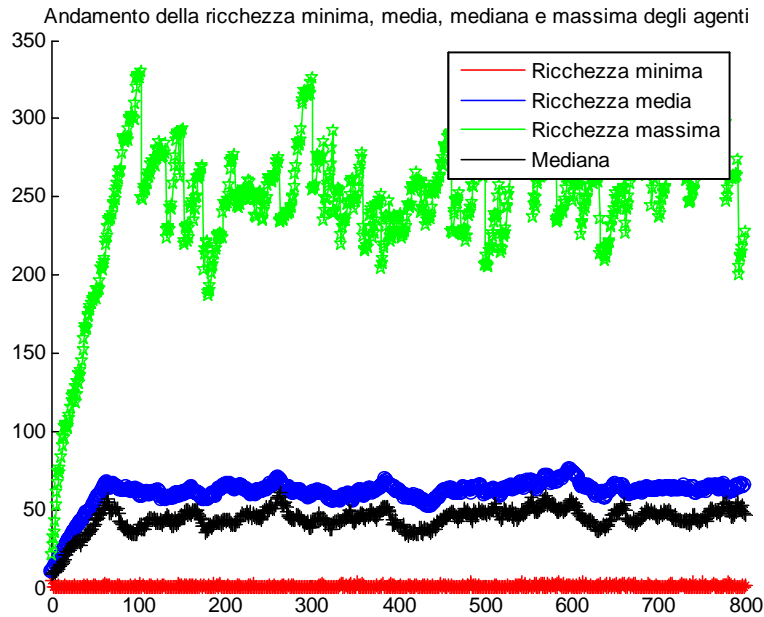


Figura 12

In generale, questi andamenti, se confrontati con quelli risultanti dal modello Sugarscape “originale”, si rivelano molto differenti. In particolare, l'introduzione di un effetto di morte “senza memoria” (con la quale, in sostanza, le scorte accumulate dagli agenti che muoiono non vengono trasmesse ai nuovi arrivati, ma finiscono bensì distrutte) fa sì che la ricchezza (sia essa quella minima, media, massima o la mediana) non cresca più all'infinito, ma tenda a stabilizzarsi già entro i primi 100 step, quando cioè può dirsi concluso il primo ricambio generazionale.

Altre differenze tra i due modelli sono quelle che emergono studiando l'andamento, in funzione del tempo, di vista e metabolismo medi degli agenti presenti nel sistema.

Il campo visivo medio non si discosta di molto nelle due simulazioni. Nel primo esperimento, non appena il numero di agenti iniziava a stabilizzarsi sulla capacità portante del sistema, la vista media si adagiava intorno al valore di 3.75. Anche in questa variante dello Sugarscape abbiamo ottenuto un raggio visivo medio molto simile, seppur il suo andamento, a causa della sostituzione degli agenti morti con nuovi individui, risulti decisamente oscillatorio.

Più interessante osservare il metabolismo. Il modello originale veniva ben presto “colonizzato” dagli agenti a metabolismo 1, mentre altri individui, con metabolismo più alto ma situati nelle zone più ricche, contribuivano ad innalzare la media del metabolismo, facendola convergere intorno al valore 1.7. In questo caso ci troviamo di fronte ad un metabolismo medio più alto, superiore a 2.

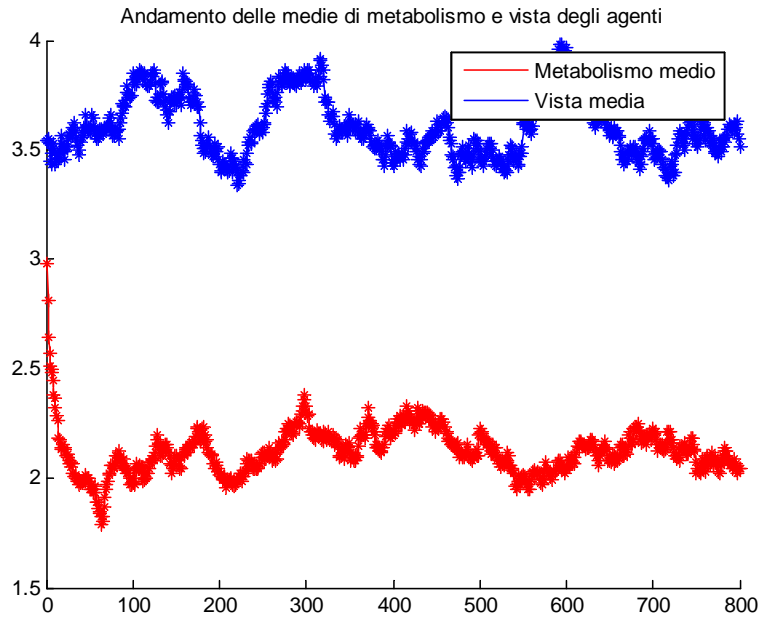
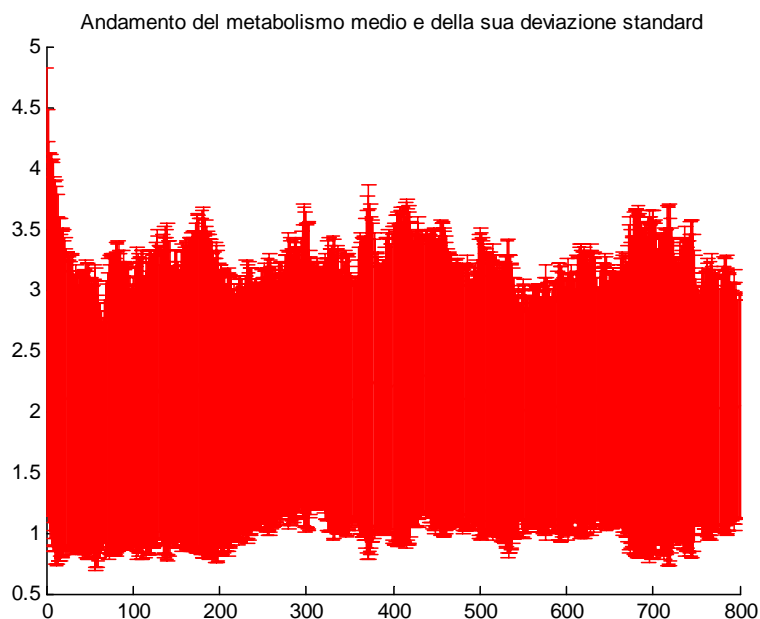


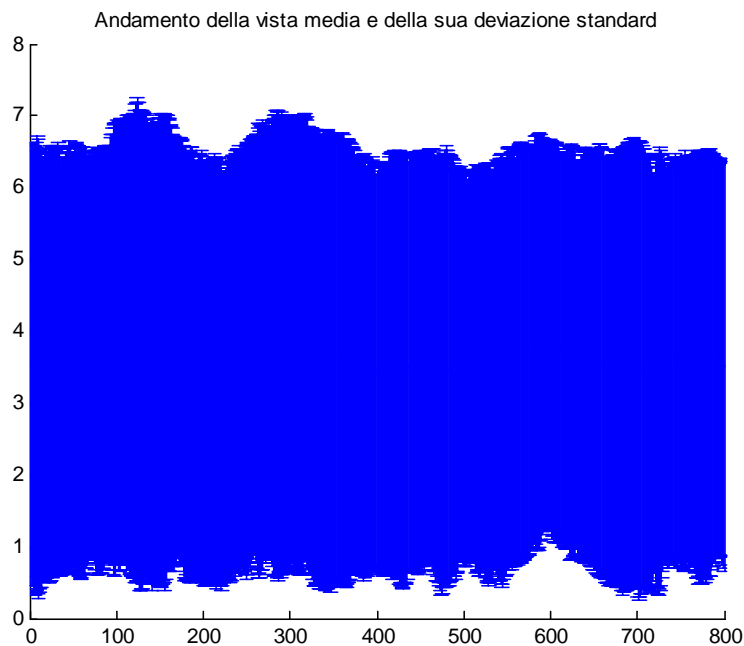
Figura 13

Come è possibile spiegare l'innalzamento di questo parametro?

La risposta a tale quesito può essere individuata nel fatto che il nuovo modello, al contrario di quello originale, provoca la morte anche degli agenti dotati di una maggiore “fitness” (ossia di un basso metabolismo). Questi individui possono dunque colonizzare il sistema, ma soltanto per un periodo di tempo abbastanza limitato, dopo il quale moriranno, dando spazio a nuovi agenti, caratterizzati spesso da un metabolismo più elevato. Ciò contribuisce ad aumentare la media del metabolismo e spiega il perché essa si discosti leggermente dai risultati ottenuti nel corso del primo esperimento.

Per lo stesso motivo, ossia la mancanza di “memoria” del sistema, ad ogni passo temporale il ventaglio di valori possibili per metabolismo e vista non si restringe. Si vede in figura 14 come l'andamento della deviazione standard dei due parametri sia pressoché costante.





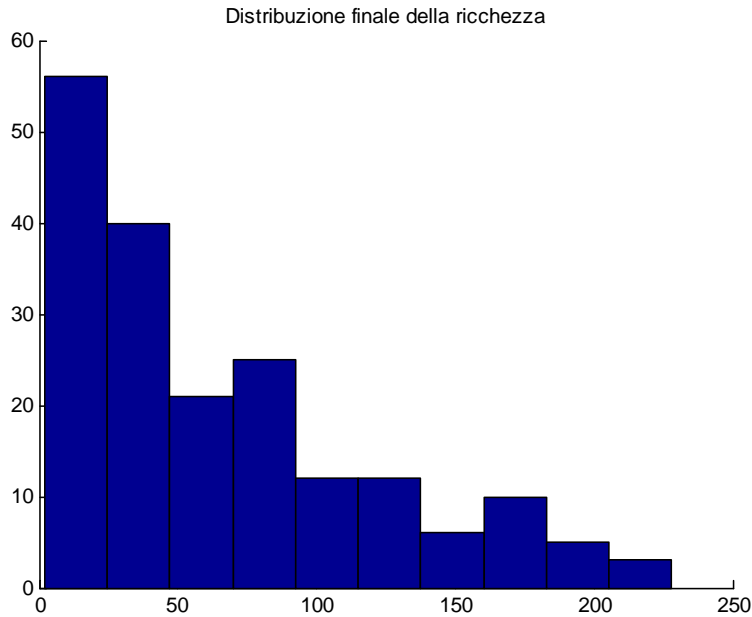
**Figura 14**

Analizzando la distribuzione della ricchezza al termine dell'evoluzione del sistema, si notano profonde differenze rispetto a quanto ottenuto nel primo esperimento.

Innanzitutto, sull'asse delle ascisse troviamo una ricchezza massima di poco superiore a 200, lontanissima da quel valore prossimo a 900 che era risultato simulando un sistema di agenti privi di morte anagrafica (ed è bene ricordare che tale esperimento era limitato a 300 passi e non 800 come quello che stiamo osservando ora).

La distribuzione della ricchezza non ha più la forma “a campana” tipica della distribuzione gaussiana. Al contrario, essa evidenzia la presenza di una maggioranza di agenti con una quantità limitata di scorte. Questi agenti possono essere presenti al termine dell'evoluzione perché:

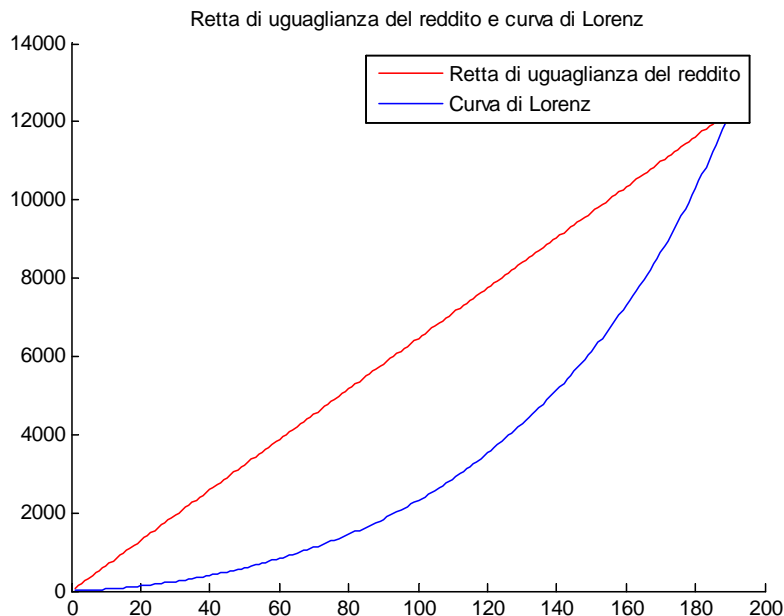
- nati da poco (e quindi con una limitata quantità di zucchero che hanno potuto raccogliere);
- caratterizzati da un metabolismo basso, ma anche da una vista che non ha mai consentito loro di spostarsi dalle zone pianeggianti dello Sugarscape;
- caratterizzati da un metabolismo alto e localizzati sulle colline del paesaggio.



**Figura 15**

Al crescere della ricchezza di riferimento, il numero di agenti che la possiede tende a diminuire in maniera quasi esponenziale. E' osservabile un picco in corrispondenza del valore 200: questo può essere spiegato identificando questi 7 agenti come quelli caratterizzati da un basso metabolismo, che da molti anni stazionano sulle colline dello Sugarscape e che sono ormai prossimi alla morte per motivi anagrafici.

Sempre in merito alla ricchezza degli agenti, il calcolo del coefficiente di Gini ci dà un'ulteriore conferma del fatto che essa sia distribuita in maniera piuttosto eguale tra i vari individui.



**Figura 16**

Il valore di tale coefficiente, risulta infatti essere uguale a 0.33687 e sappiamo che un coefficiente pari a zero denota assenza di ineguaglianze, mentre il valore 1 indica la disuguaglianza totale.

In figura 16, sull'asse orizzontale vengono riportate le percentuali relative alla popolazione e su quello verticale la percentuale relativa al reddito. La curva rappresenta il caso in questione, la retta la condizione di totale uguaglianza.

## **6. Riproduzione sessuata**

Nell'esperimento descritto nel paragrafo precedente i nostri agenti, quando morivano, venivano subito rimpiazzati da un nuovo agente. La realtà è tuttavia molto distante da questo tipo di modellizzazione: il numero di nascite non è strettamente collegato al numero delle morti e le nascite dipendono da fattori quali la presenza di coppie, la fertilità dei genitori e la disponibilità a fare figli. Affinché il nostro sistema permetta la generazione di nuovi agenti tramite riproduzione sessuata è necessario, innanzitutto, attribuire un sesso all'agente. I nostri agenti avranno con probabilità 0.5 sesso maschile o femminile.

L'accoppiamento di un agente con uno del sesso opposto avviene se quest'ultimo si trova nell'intorno del primo. In questo caso per intorno intendiamo tutte le 8 celle che circondano l'agente. Se un agente trova nel suo intorno più agenti del sesso opposto sceglierà in modo casuale tra essi.

Ovviamente non è sufficiente che due agenti siano di diverso sesso affinché possano riprodursi, subentrano fattori quali l'età e la forza fisica. A questo scopo ad ogni agente vengono attribuite un'età di inizio e di fine della fertilità. Ad ambo i sessi viene assegnata un'età di inizio della fertilità compresa tra i 12 e i 15 anni. La soglia massima di età fertile è invece compresa tra 40 e 50 anni per le femmine e tra 50 e 60 per i maschi.

Affinché un agente possa riprodursi deve dunque essere in età fertile, ma ciò non è sufficiente, deve essere anche abbastanza forte. Si assume che la condizione della forza sia soddisfatta quando l'agente possiede almeno il doppio delle sue scorte iniziali.

A questo punto se un agente è fertile e forte e trova nel suo intorno un agente dell'altro sesso altrettanto forte e fertile viene generato un nuovo agente. Il nascituro verrà posizionato in una posizione scelta in modo casuale tra quelle libere dell'intorno di entrambi i genitori. Questo comporta che nel caso in cui non ci siano celle libere nei due intorni, la coppia non può avere un figlio.

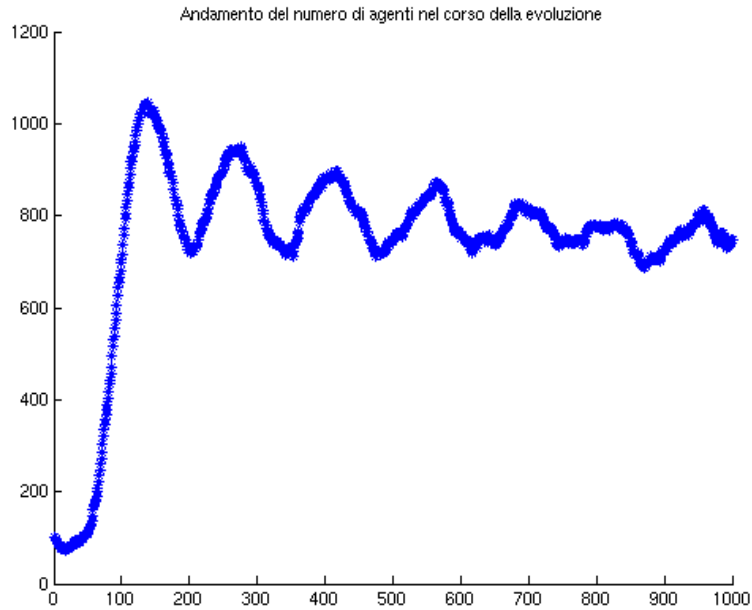
Il nuovo agente avrà età zero, ed erediterà metà delle scorte iniziali del padre e metà di quelle della madre. Egli eredita inoltre l'abilità visiva da uno dei due genitori con probabilità uniforme, lo stesso vale per il metabolismo.

La fase della riproduzione avviene in seguito al movimento dell'agente e alla sua raccolta, ma prima che egli consumi. Questo implica che gli agenti che non vengono selezionati per essere mossi non avranno nemmeno l'opportunità di riprodursi.

Abbiamo fatto evolvere il sistema caratterizzato da riproduzione sessuata degli agenti per 1000 passi. Illustriamo di seguito i risultati ottenuti.

Si specifica che è stata adottata una quantità di scorte iniziali compresa tra 10 e 40.

Vediamo in figura 17 il risultato più emblematico dell'esperimento: l'andamento del numero degli agenti tenendo presente che il numero di agenti iniziali dell'esperimento era 100.



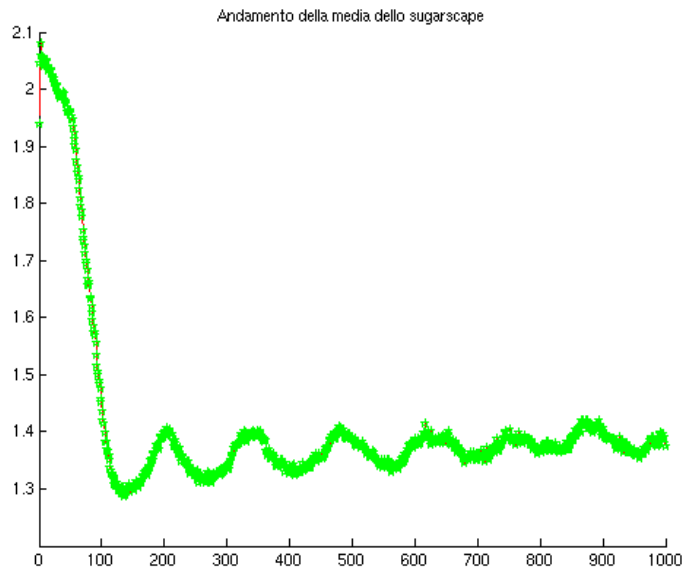
**Figura 17**

Il grafico presenta il tipico andamento di una curva logistica, la quale è stato ipotizzato rappresentare l'andamento demografico della società.

In seguito ad un'iniziale crescita esponenziale, la popolazione comincia a decrescere, presenta poi un andamento discontinuo per stabilizzarsi infine e mantenere un comportamento asintotico. Tale asintoto è per definizione la capacità portante del sistema.

Il nostro sugarscape ha quindi un effettiva capacità portante che si aggira intorno agli 800 agenti (partendo da una condizione iniziale di 100 agenti).

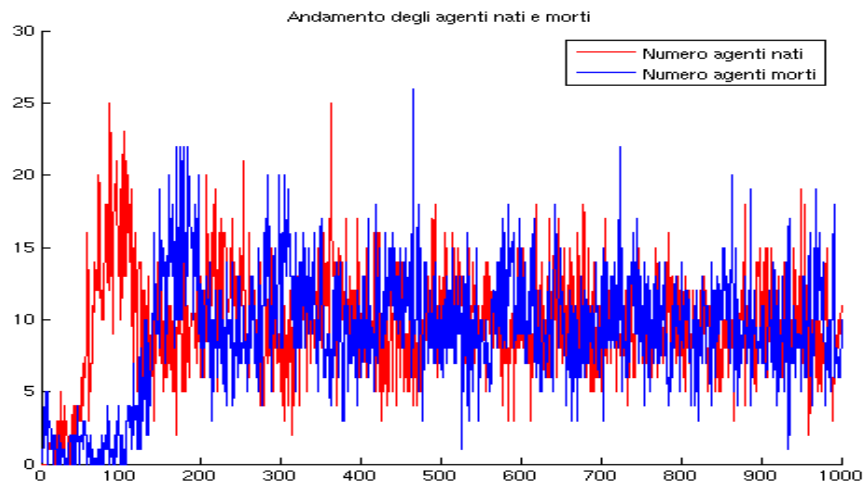
Si noti in figura 18 come lo Sugarscape presenti un comportamento perfettamente simmetrico rispetto a quello del numero degli agenti. Quando gli agenti sono tanti lo Sugarscape presenta una media di zucchero bassa, per l'ovvio motivo che ci sono più agenti che raccolgono; viceversa quando gli agenti sono meno, lo Sugarscape riesce a trattenere nelle sue celle una maggior quantità di zucchero.



**Figura 18**

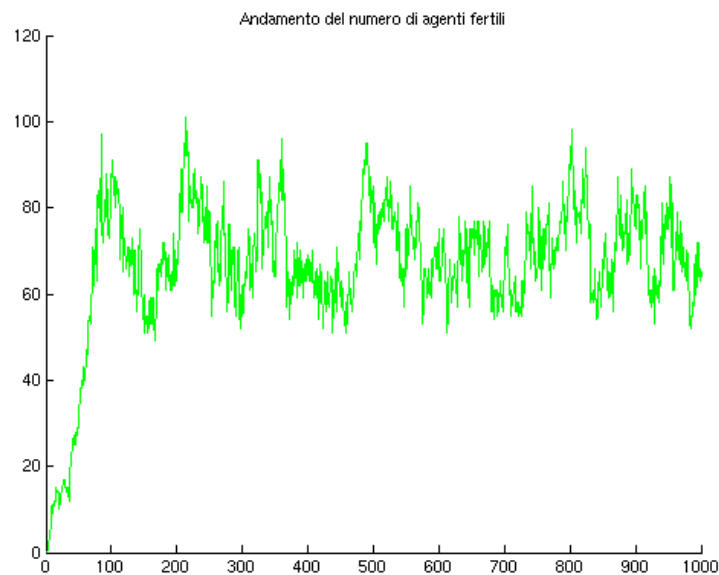
Visto il comportamento a livello macro del sistema, dettagliamo la nostra analisi ad un livello minore. Analizziamo in figura 19 e 20 l'andamento del numero di agenti nati, morti e fertili.

Conformemente alle nostre aspettative, l'andamento del numero di agenti morti e nati spiega l'andamento globale della popolazione visto in figura 17. Nella fase iniziale dell'evoluzione il tasso di nascita è pressoché nullo, mentre abbiamo un'elevata mortalità. Questa fase corrisponde alla depressione visibile in figura 17 nei primi passi temporali, antecedentemente al grande picco. Tale mortalità è quella che colpisce gli agenti a cui, nella creazione delle condizioni iniziali, era stata attribuita un'età vicina all'età di morte e a quegli agenti che non sono riusciti ad accumulare abbastanza scorte. Col proseguire dell'evoluzione, gli agenti che nella situazione di partenza non erano ancora in età fertile o non avevano accumulato abbastanza scorte sono ora in grado di riprodursi. Si assiste allora ad un'impennata del numero delle nascite, che supera decisamente quello delle morti. Questa è la fase del picco della popolazione. Ma le nascite non possono crescere all'infinito, non c'è spazio per tutti sulle collinette ed è lì che trovano tutti i potenziali genitori. Il numero delle nascite è quindi costretto a decrescere vertiginosamente, cominciano inoltre ad essere troppo vecchi quegli agenti che erano giovani alla partenza; le morti tornano così a superare le nascite. Lo squilibrio tra nascite e morti, si alterna, prima in favore dell'uno, poi dell'altro, fino all'incirca al passo 600, dopo il quale natività e mortalità cominciano ad eguagliarsi, permettendo alla popolazione di mantenersi in equilibrio.



**Figura 19**

Come prevedibile, il numero di agenti fertili presenta un andamento molto simile a quello degli agenti nati seppur su diversi valori. Il numero di agenti fertili è infatti sempre molto più elevato di quelli nati, poiché la fertilità è condizione necessaria ma non sufficiente per la riproduzione.



**Figura 20**

Ai fini della nostra analisi l'aspetto di maggiore interesse oltre alla capacità di carico è la conformazione degli agenti. In particolare vogliamo vedere come influisce la variante della riproduzione sessuata sulle caratteristiche degli agenti.

Siamo in presenza di agenti che presentano caratteristiche differenti e tali caratteristiche influenzano l'adattamento dell'agente, inteso come riproduzione e sopravvivenza. I nostri agenti si caratterizzano infatti per diversi valori di metabolismo e vista e, dalle conoscenze acquisite attraverso gli esperimenti precedenti, sappiamo che elevati valori di vista e bassi valori di metabolismo permettono una maggiore sopravvivenza permettendo di mantenere più scorte. Per come è strutturato il nostro programma la quantità di scorte influenza la capacità che un agente ha

di riprodursi. Tali caratteristiche sono inoltre ereditabili dalle nuove generazioni che hanno abilità visiva e metabolismo uguali a quelli di un genitore.

Siamo dunque in presenza dei tre ingredienti base richiesti dal processo della selezione :

- Variazione del fenotipo
- Differenze in termini di sopravvivenza e riproduzione correlate alle differenze fenotipiche.
- Ereditarietà del fenotipo

Nel nostro caso il fenotipo è rappresentato da metabolismo e vista<sup>1</sup>.

Ci aspettiamo perciò che col passare del tempo avvenga una sorta di selezione naturale per la quale rimangono in vita solo gli agenti possedenti le caratteristiche più “performanti”. Il comportamento sarà perciò simile a quello del nostro esperimento iniziale con la differenza che prima non c’era un ricambio degli agenti quindi per forza di cose rimanevano in vita i più adattivi. Ora gli agenti muoiono di vecchiaia, anche i più adattivi, ma per opera della selezione naturale le nuove generazioni saranno sempre più adattive. Assistiamo dunque ad un miglioramento della popolazione e ad un’estinzione del fenotipo maladattivo. Questa ottimizzazione degli agenti non poteva accadere nel precedente esperimento poiché in assenza di ereditarietà del fenotipo gli agenti non erano in grado di apprendere, ricreando così ogni volta le condizioni di partenza del sistema.

Andiamo ora a verificare la veridicità della nostra ipotesi. Vediamo in figura 21 l’andamento medio di quelli che abbiamo stabilito essere i nostri fenotipi: la vista ed il metabolismo.

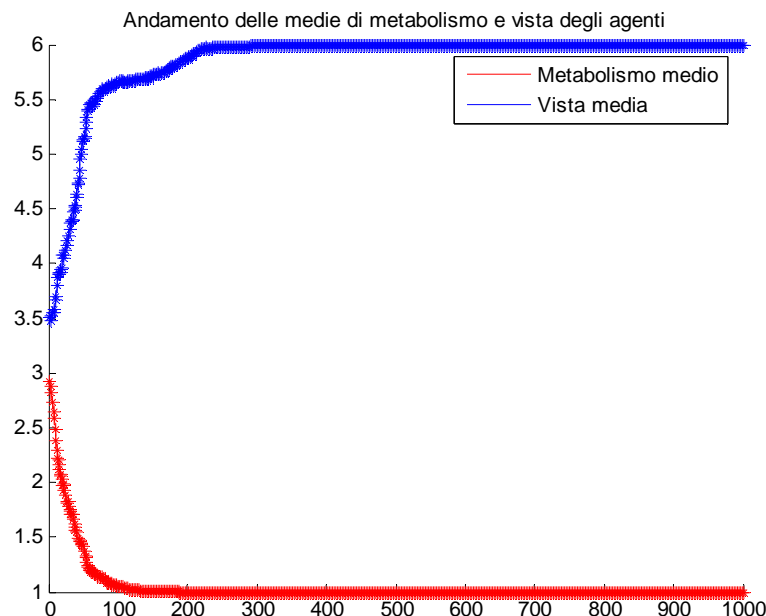


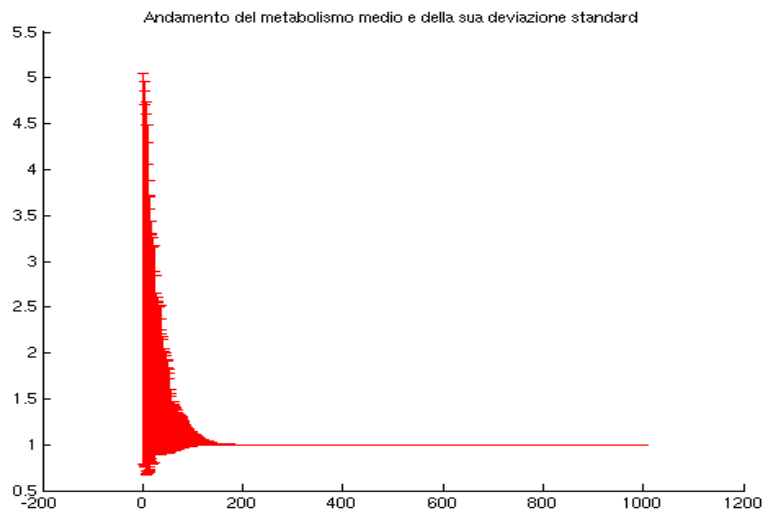
Figura 21

Come ci aspettavamo il comportamento è simile a quello del nostro primo esperimento e i valori sui cui si stabilizza sono i valori ottimali in netta contrapposizione con l’esperimento degli agenti a riproduzione asessuata.

<sup>1</sup> Il genotipo di un individuo è dato dal suo corredo genetico, è ciò che è “scritto” nel DNA contenuto nel nucleo di tutte le sue cellule ed è quindi immutabile. Il fenotipo, invece, è l’insieme dei caratteri che l’individuo manifesta: dipende dal suo genotipo, dalle interazioni fra geni e anche da fattori esterni; dunque può variare. (<http://www.far.unito.it/didamedica/b/modulo1.htm>). Sembra logico dunque assumere che metabolismo e vista siano classificabili come fenotipo.

L'aspetto più significativo da analizzare è la deviazione standard dei due parametri. Vediamo in figura 22 l'andamento della vista e del metabolismo medi raffigurati insieme alle rispettive deviazioni standard, a rappresentare l'ampiezza media della gamma di valori disponibili per tale parametro ad ogni passo temporale.

Il fenomeno più eclatante è quello del rimpicciolimento nel corso del tempo della deviazione standard. Per effetto dell'adattamento, il sistema sceglierà infatti il valore più adattivo portando alla scomparsa degli altri valori possibili.



**Figura 22**

Nell'esperimento con riproduzione asessuata le deviazioni standard si mantenevano invece costanti (si veda la figura 14). Gli agenti non apprendevano e, come diretta conseguenza, i parametri spaziavano sempre nell'intero ventaglio dei valori inizialmente possibili.

Ci resta ora da analizzare come si distribuisce la ricchezza tra i nostri agenti "evoluti".

Nel grafico in figura 23 vediamo come sia la ricchezza minima che quella media e massima presentino un comportamento simile e vagamente riconducibile a quello della curva logistica.

Nella fase iniziale abbiamo infatti poche morti, abbiamo molti agenti in età avanzata. Gli agenti anziani sono quelli che hanno la possibilità di essere più ricchi poiché hanno avuto a disposizione più tempo per accumulare scorte. Per questo motivo, nel corso della fase iniziale, sia la ricchezza media che quella massima e minima presentano valori più alti rispetto ai periodi successivi. Nel corso del tempo gli agenti anziani muoiono e la popolazione è mediamente più giovane: si abbassano quindi ricchezza media, massima e minima.

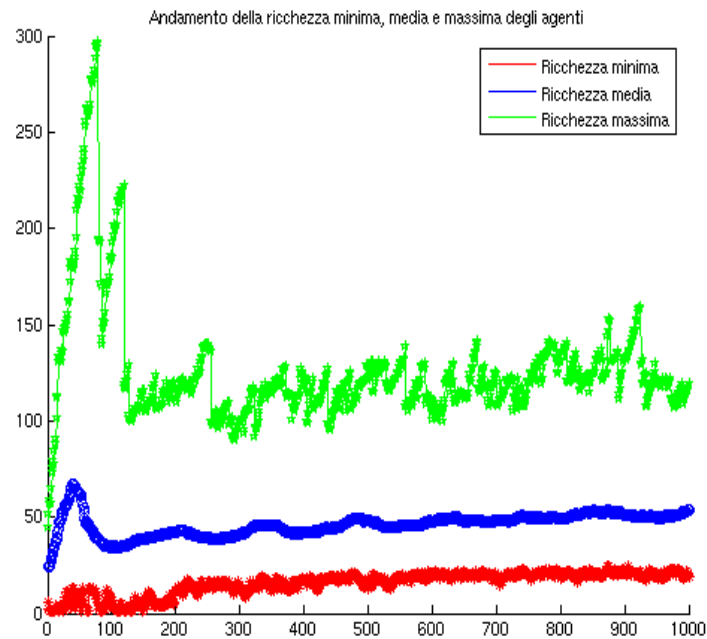


Figura 23

Per lo stesso motivo la distribuzione della ricchezza fra gli agenti finali rappresentata nell'istogramma in figura 24 è molto spostata verso lo zero, la maggior parte degli agenti sono poco ricchi e non c'è quasi nessuno molto ricco. Il ricambio generazionale permette una distribuzione più equa della ricchezza, impedendo un eccessivo arricchimento di qualcuno. L'istogramma mostra, infatti, che le barre più alte sono tutte adiacenti, la maggioranza degli agenti hanno una quantità di ricchezza simili come attestano anche la figura 25 ed il coefficiente di Gini, pari a 0,14069.

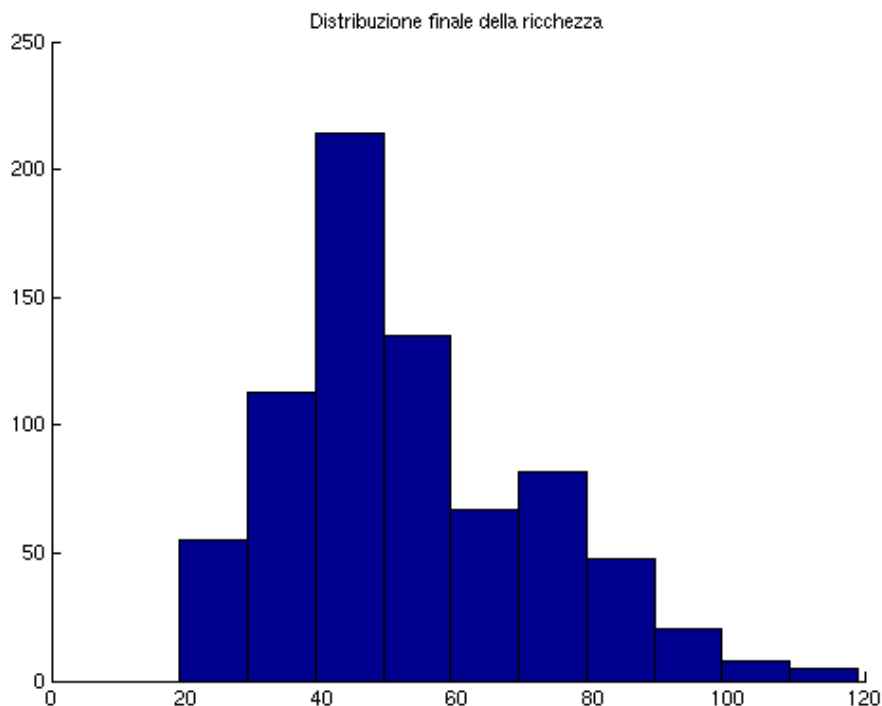
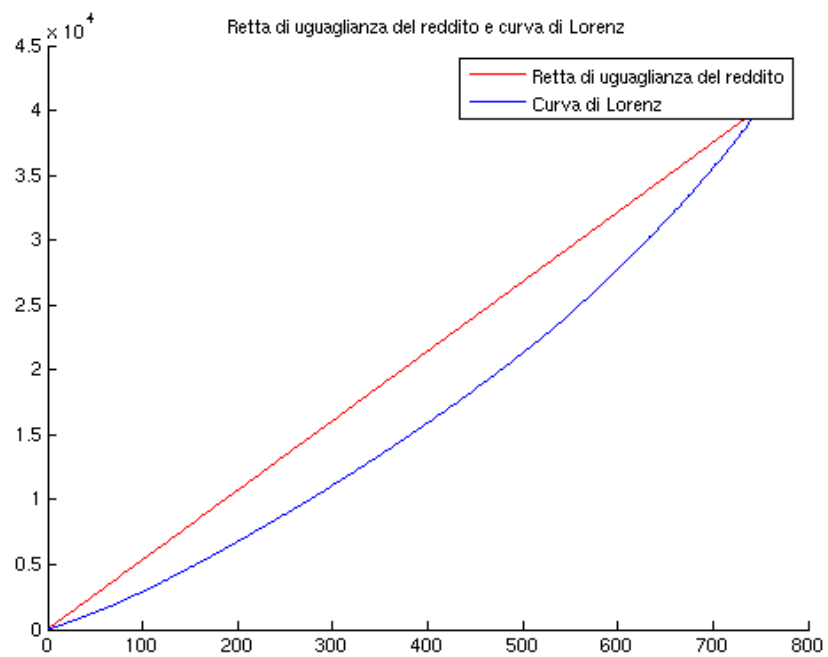


Figura 24



**Figura 25**

## 7. Alcuni esperimenti sulla riproduzione sessuata

Ora che abbiamo visto come funziona la genetica all'interno del modello Sugarscape, possiamo procedere ad alcuni esperimenti nei quali varieremo le condizioni di riproduzione.

Al fine di ridurre i tempi necessari per le simulazioni, gli esperimenti che verranno ora illustrati sono stati effettuati su di una versione “ridotta” dello Sugarscape originale. Esso è una matrice di dimensioni 25x25 (e non più 50x50), dove le colline che caratterizzano il panorama sono di conseguenza meno estese in orizzontale ed il loro centro é posizionato in coordinate differenti rispetto a dove si trovava nel modello originale.

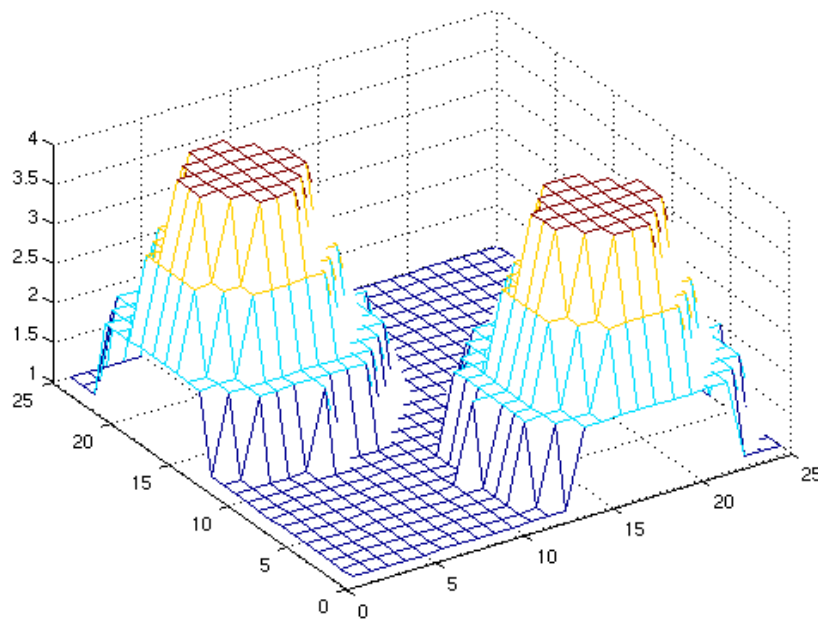


Figura 26

Le caratteristiche delle due colline sono riassunte nella tabella che segue:

	<i>Collina 1</i>	<i>Collina 2</i>
posizione sull'asse delle ascisse:	6	18
posizione sull'asse delle ordinate:	18	6
larghezza sull'asse delle ascisse:	6	6
larghezza sull'asse delle ordinate:	6	6
altezza massima:	4	4

Le ridotte dimensioni del nuovo Sugarscape ci costringono a fare iniziare l'evoluzione del sistema con un numero notevolmente più basso di agenti rispetto agli esperimenti precedenti. Per la precisione, le quattro simulazioni che seguiranno, inizieranno con 25 agenti in vita e proseguiranno per 1000 step. Altra caratteristica è la limitata crescita dello Sugarscape, le cui celle, ad ogni step, cresceranno soltanto di mezza (0,5) unità di zucchero.

### 7.1. Primo esperimento

Il primo esperimento è basato sulle stesse regole utilizzate nel precedente modello, dove erano contemporaneamente presenti sia la morte “anagrafica” che la riproduzione sessuata. L'unica differenza è riscontrabile nella quantità iniziale di scorte di cui sono dotati gli agenti, non più compresa nell'intervallo [10,40], ma fissata sul valore 10.

Riepilogando dunque quelle che sono le condizioni iniziali, abbiamo:

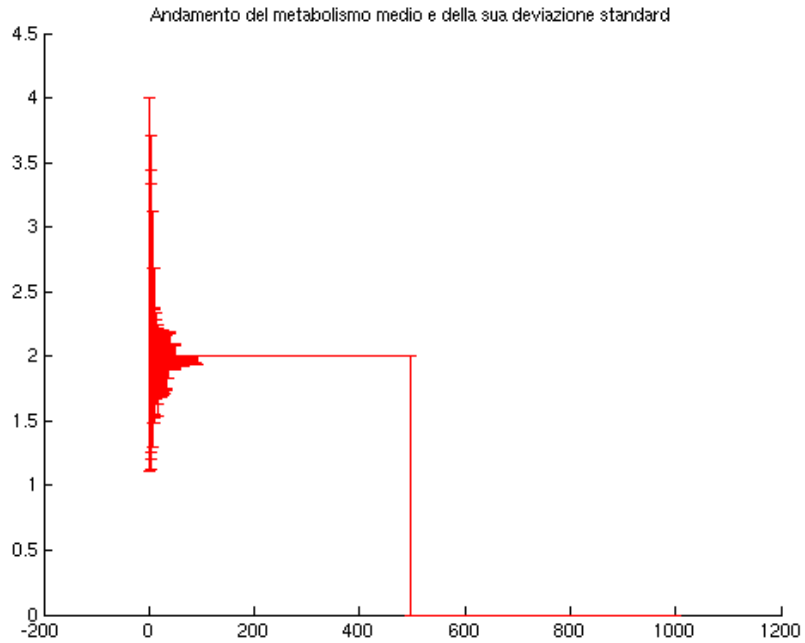
campo visivo:	compreso nel range [1,6]
metabolismo:	compreso nel range [1,5]
scorta iniziale di zucchero:	10
età di morte:	compresa nel range [60,100]
inizio età fertile:	compresa nel range [12,15]
fine età fertile (maschi):	compresa nel range [50,60]
fine età fertile (femmine):	compresa nel range [40,50]

I primi tre esperimenti effettuati si sono conclusi con il “collasso” del sistema, all'interno del quale non è rimasto in vita neppure un agente. Rispettivamente, le estinzioni di massa degli agenti sono avvenute dopo circa 140, 500 e 120 steps. Solo al quarto tentativo il sistema è stato in grado di reggere per tutti e 1000 i passi previsti.

Verrebbe da pensare che l'alto numero di fallimenti sia dovuto al basso numero di agenti presenti inizialmente nel sistema. L'andamento della popolazione, come mostrato nell'esperimento precedente, è sempre caratterizzato da un tracollo iniziale: gli agenti presenti originariamente nel sistema possono infatti essere già molto vicini alla loro età di morte e conseguentemente scomparire prima di avere avuto la possibilità di riprodursi. Se questa situazione si verifica per tutti e venticinque gli agenti, il sistema si trova rapidamente “svuotato” dei suoi membri.

Nei tre tentativi andati a vuoto, tuttavia, il sistema non è collassato immediatamente. In due di questi casi (estinzioni avvenute al 120esimo ed al 140esimo step) possiamo ipotizzare che soltanto pochi agenti siano riusciti a riprodursi e che quindi il sistema sia crollato quando i loro figli, rimasti soli nello Sugarscape, hanno raggiunto l'età di morte. Più difficile spiegare invece il terzo caso, nel quale il collasso è avvenuto dopo 500 steps, senza ricorrere all'analisi dei dati.

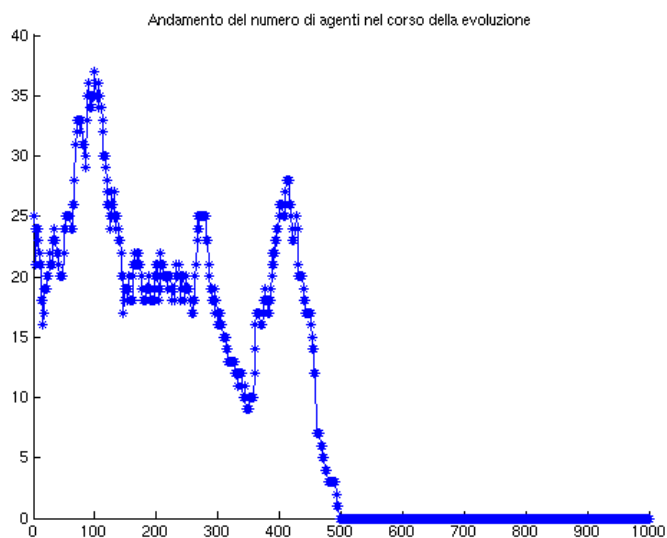
Si osservi il seguente grafico:



**Figura 27**

Dalla figura emerge chiaramente come gli agenti non siano riusciti ad adattarsi in maniera ottimale all'ambiente. Coloro che sono rimasti in vita, dopo circa un centinaio di steps, erano esclusivamente agenti a metabolismo 2, maggiormente penalizzati (in chiave riproduttiva) rispetto a quelli con metabolismo 1, che abbiamo visto colonizzare lo Sugarscape nell'esperimento precedente.

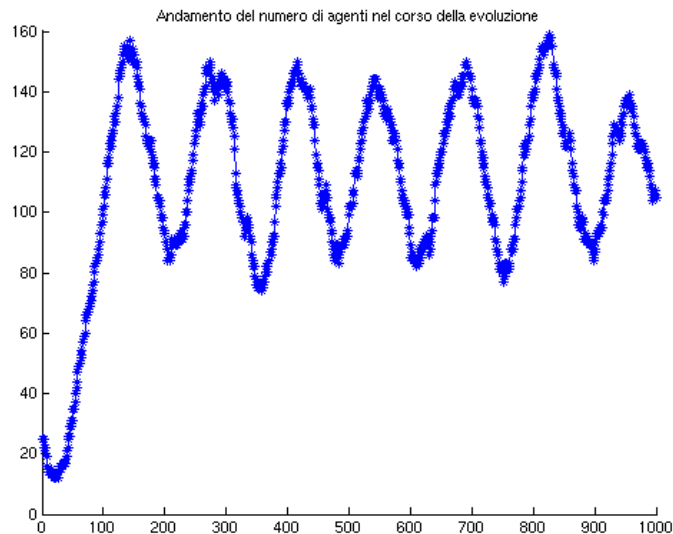
Osservando poi l'andamento nel tempo della numerosità della popolazione, si può avere la conferma di come non abbia avuto luogo (se non per un periodo di tempo molto limitato) quella crescita esponenziale tipicamente successiva all'iniziale tracollo del sistema.



**Figura 28**

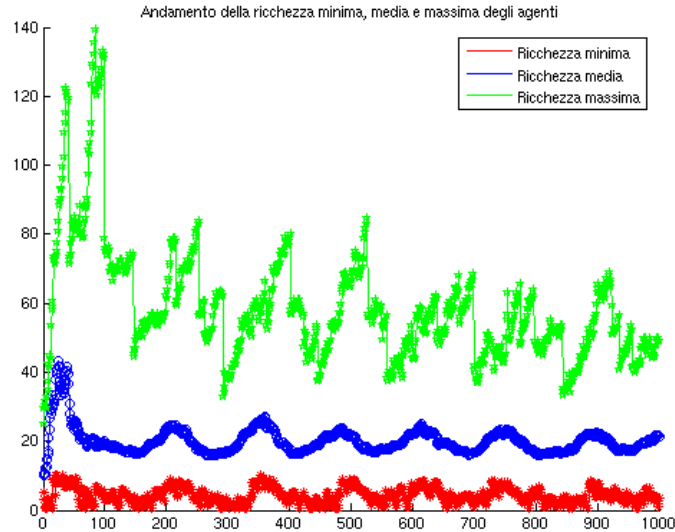
Per quanto riguarda l'ultimo caso, dove un buon numero di agenti è riuscito a sopravvivere fino al 1000esimo passo, andiamo ad analizzare ciò che è emerso.

Il grafico qui sotto riportato mostra il numero di agenti presenti nel sistema nei vari steps. La tendenza che sembra emergere è quella di una convergenza intorno al valore 120, che possiamo così identificare quale capacità portante del sistema in queste particolari condizioni.



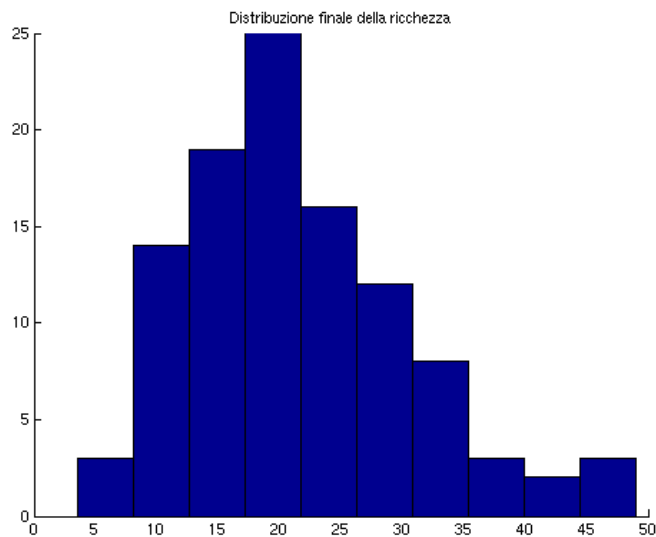
**Figura 29**

Per quanto riguarda la ricchezza, gli andamenti del valore minimo, medio e massimo che abbiamo potuto osservare si sono mostrati in accordo con quelle che erano le nostre previsioni. La ricchezza massima ha raggiunto il suo apice dopo circa un centinaio di steps, per la presenza di agenti a basso metabolismo, presenti inizialmente nel sistema con un'età vicina allo zero ed un'età di morte prossima a 100 (il massimo valore consentito dal sistema), che presumibilmente non si sono mai riprodotti, permettendo così alle loro scorte di crescere continuamente. Interessante anche studiare la curva della ricchezza minima, che mostra un andamento fortemente oscillatorio. In quei momenti in cui si è in assenza di agenti che muoiono per l'esaurimento delle proprie scorte di zucchero, tale curva si alza fino a raggiungere, in più circostanze, valori prossimi a 10. Tale valore è in parte giustificato dal fatto che i nuovi nati ereditano una parte delle scorte dei genitori.



**Figura 30**

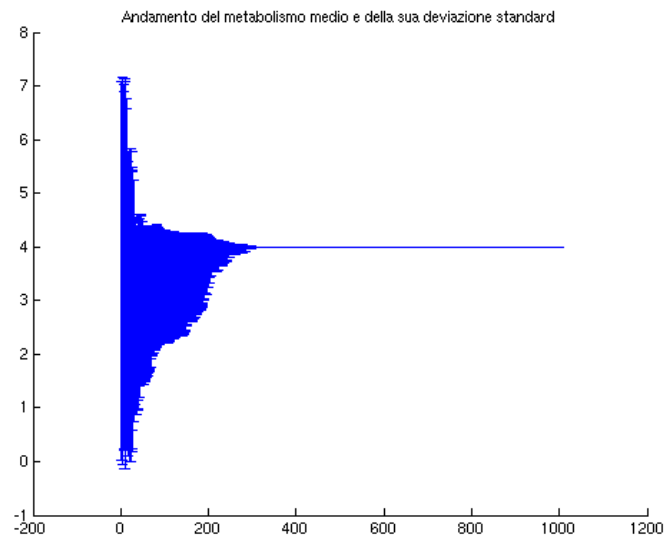
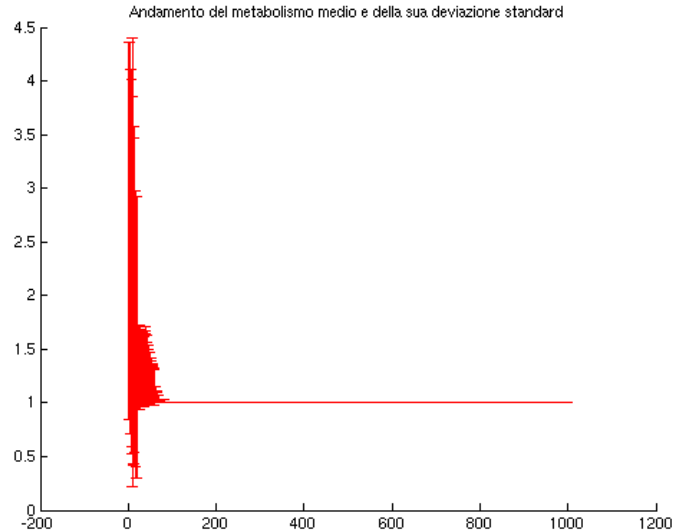
La distribuzione della ricchezza risulta essere abbastanza omogenea, come evidenziato dal grafico che segue:



**Figura 31**

Questo risultato è in parte dovuto all'effetto di morte “anagrafica” degli agenti ed in parte al fatto che i figli ereditano zucchero dai genitori, che vedono così ridotte le proprie scorte in seguito ad ogni atto riproduttivo. Il coefficiente di Gini, pari a circa 0,16, è un'ulteriore testimonianza di questo risultato.

Andiamo infine ad analizzare le caratteristiche degli agenti che sono riusciti ad evolvere:



**Figura 32**

Il sospetto avanzato precedentemente, dopo aver visto crollare un sistema caratterizzato da agenti con metabolismo 2, ha trovato qui una conferma. In questo caso, infatti, gli agenti rimasti in vita dopo un centinaio di steps erano tutti caratterizzati da metabolismo 1. Questo ha permesso loro di accumulare una rilevante quantità di scorte che li ha resi fertili molto velocemente.

Per quanto riguarda il campo visivo degli agenti, il sistema si è stabilizzato su un valore di 4. Se la deviazione standard relativa al metabolismo si è azzerata nel giro di pochi passi, quella legata al campo visivo degli agenti si è invece mantenuta un po' più lungo. Tale risultato è spiegabile prendendo in considerazione le regole di riproduzione adottate. I figli nati dalla riproduzione di due agenti di sesso opposto, vengono infatti collocati in una cella libera dello Sugarscape, adiacente ad uno dei genitori. In questo modo, per sopravvivere, il figlio non dovrà essere necessariamente dotato di una vista particolarmente elevata, essendo presumibilmente già posizionato molto vicino alle colline del panorama. Tuttavia, gli agenti con vista più elevata hanno inizialmente maggiori possibilità di sopravvivere e diffondere questa capacità visiva ai discendenti. Questo spiega il perchè il sistema si sia stabilizzato su un fattore di vista pari a 4, superiore al valore atteso di 3,5.

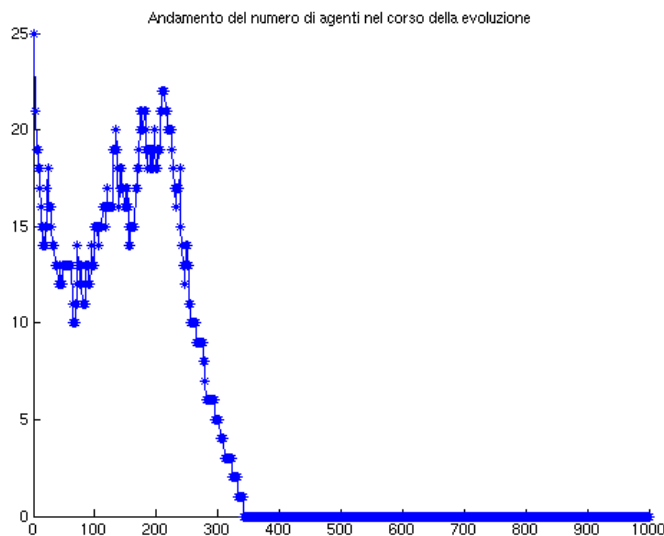
## 7.2. Secondo esperimento

Nel secondo esperimento abbiamo abbassato la soglia massima dell'età fertile degli agenti, in accordo con quanto descritto nella tabella seguente:

	<i>Primo esperimento</i>	<i>Secondo esperimento</i>
fine età fertile (maschi):	[50,60]	[40,50]
fine età fertile (femmine):	[40,50]	[30,40]

In questo caso sono stati necessari addirittura 5 tentativi per ottenere una simulazione nella quale il sistema non collassasse prima dei 1000 passi previsti.

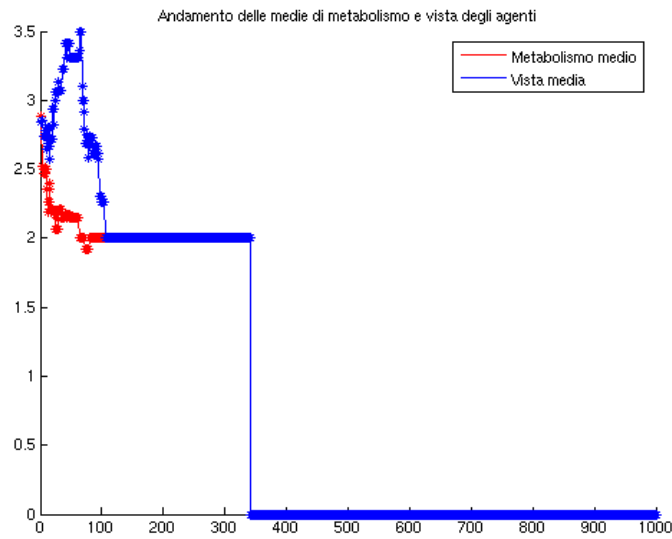
Il numero di fallimenti più alto rispetto a quanto riscontrato in precedenza è da imputarsi alla modifica effettuata. Avendo abbassato la soglia massima per la fertilità (ed avendo mantenuto immutata la soglia minima, compresa nel range [12,15]) abbiamo di fatto reso ancora più restrittive le condizioni minime necessarie per la riproduzione. Effetto concreto di tutto ciò è stato che tre dei cinque tentativi effettuati si sono conclusi con un rapidissimo collasso del sistema (rispettivamente dopo circa 90, 80 e 90 passi). In un'altra circostanza, il sistema si è faticosamente “trascinato” fino a circa 350 step, per poi crollare a sua volta, come evidenziato dal grafico riportato qui sotto:



**Figura 33**

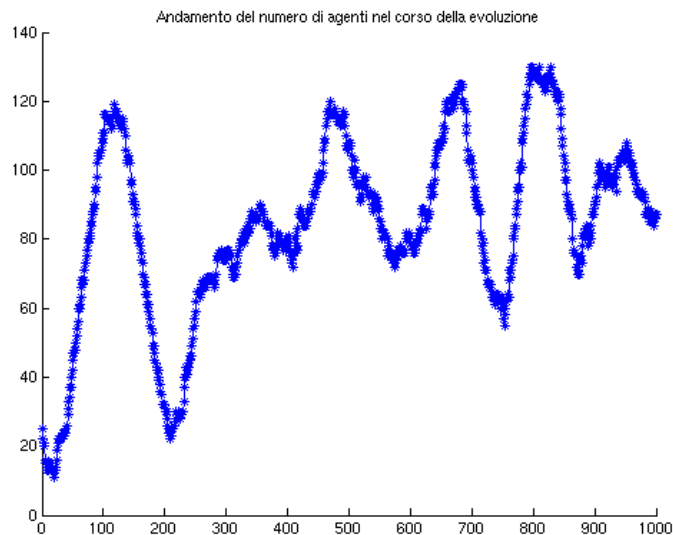
Ancora una volta ciò è imputabile ai due elementi visti in precedenza:

- la mancata specializzazione degli agenti: quelli rimasti in vita dopo i primi 100 passi erano caratterizzati da metabolismo e capacità visiva entrambi uguali a 2 (si veda a riguardo la figura 34);
- il mancato superamento della “soglia critica” del numero di agenti presenti nel sistema (che in questo caso, con gli agenti dotati di un periodo fertile ridotto, possiamo ipotizzare fosse ancora più alta rispetto a quella del sistema precedente).



**Figura 34**

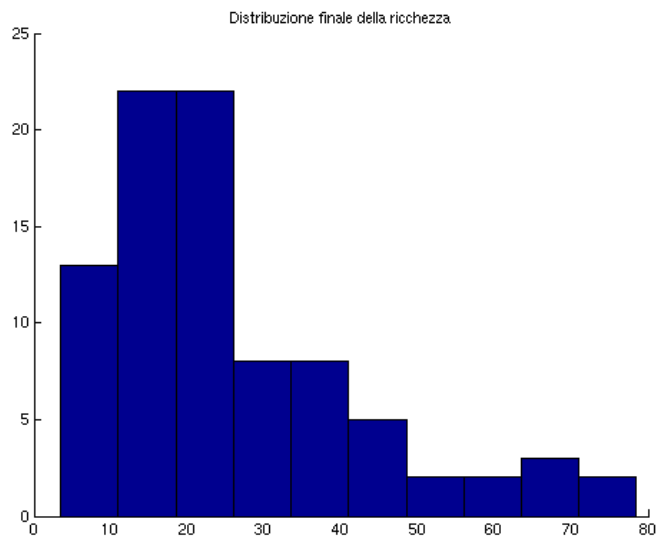
Al quinto tentativo, il sistema è stato finalmente in grado di reggere per tutti i 1000 steps previsti. Il numero di agenti sembra tendere ad una stabilizzazione attorno ad un valore prossimo a 90, che risulta del 25% più basso rispetto a quanto ottenuto nell'esperimento precedente. Questa riduzione della capacità portante del sistema è dovuta alla limitazione del periodo fertile degli agenti, che possono ora mettere al mondo un numero più ristretto di figli.



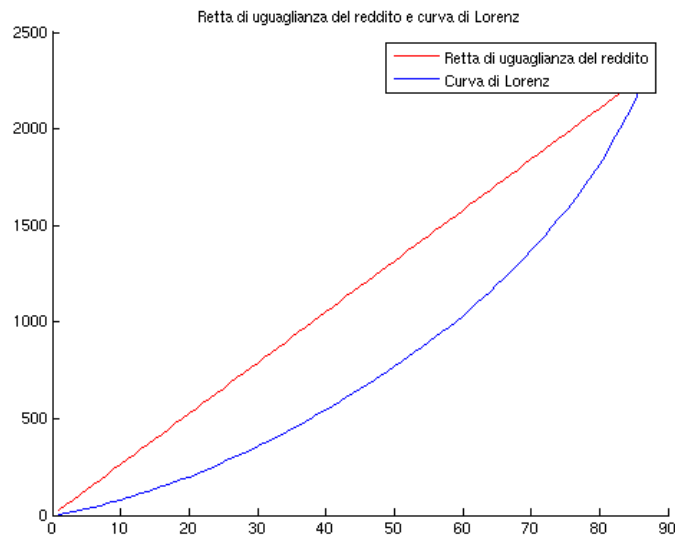
**Figura 35**

Come emerge chiaramente dai successivi due grafici, la ricchezza risulta essere ora distribuita in maniera molto più diseguale rispetto a prima. Si tratta ancora di una conseguenza diretta dell'aver ridotto il periodo di fertilità degli agenti, avendo lasciato al contrario immutata la loro età massima. In questo modo, gli agenti che arrivano alla “menopausa” hanno a disposizione, nella peggiore delle ipotesi, altri dieci anni per accumulare scorte, ossia arricchirsi, accentuando la disuguaglianza

“economica” nei confronti dei nuovi nati o di quegli agenti che stanno vedendo una riduzione delle proprie scorte causata della riproduzione.



**Figura 36**



**Figura 37**

Il coefficiente di Gini, a supporto di quanto detto, risulta essere superiore al valore di 0,25.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, risulta comprensibile come la ricchezza diffusa tra gli agenti sia mediamente più alta rispetto a quella che abbiamo riscontrato nel caso precedente. In questo secondo esperimento, la ricchezza massima tocca a sua volta dei picchi molto più alti in

confronto al primo, mentre non si notano differenze sostanziali per quanto riguarda la ricchezza minima, se non un andamento leggermente meno oscillatorio.

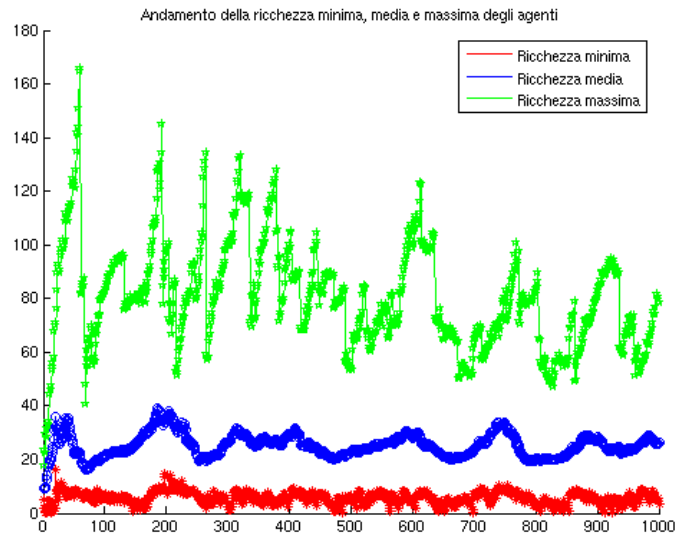


Figura 38

Come previsto e messo in evidenza dal grafico successivo, gli agenti che hanno colonizzato il sistema erano tutti caratterizzati da metabolismo 1. Questo ha permesso loro di sopravvivere alle prime dinamiche di stabilizzazione del sistema e successivamente di riprodursi, diffondendo nello Sugarscape nuovi agenti con metabolismo unitario.

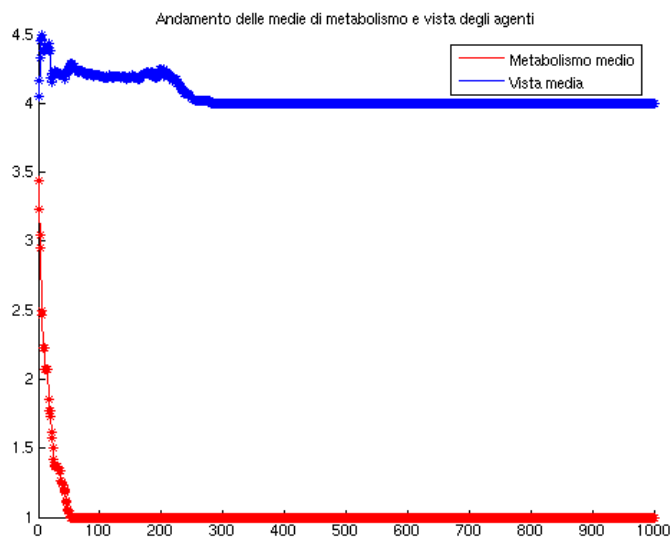


Figura 39

Ancora una volta ci siamo dunque trovati di fronte ad un comportamento “a soglia” del sistema. Se durante la crescita iniziale (quella che segue l'immediato tracollo dei primissimi steps) gli agenti non riescono a raggiungere un certo numero (che è difficile identificare con precisione, ma che possiamo ipotizzare sia approssimativamente uguale a 100), allora il sistema è destinato al collasso.

La prima conclusione che possiamo trarre da questi due esperimenti è dunque che lo Sugarscape ridotto, per non collassare partendo da una condizione iniziale di 25 agenti, deve essere colonizzato da agenti a metabolismo 1 (in tal caso, il fattore vista assume un ruolo secondario) ed avere un elevato numero di nuovi nati già nei primi steps, in modo tale da raggiungere quella soglia critica che gli permette di sopportare senza eccessivi rischi le successive dinamiche oscillatorie della popolazione.

### 7.3. Terzo esperimento

Nel terzo esperimento, le soglie massime dell'età fertile sono state ripristinate sui valori originali, ossia nell'intervallo [50,60] per gli agenti maschi ed in quello [40,50] per gli agenti di sesso femminile.

Rispetto al primo esperimento, sono state però variate le condizioni relative alla riproduzione: ora, gli agenti possono riprodursi anche se in possesso di solo il 40% delle loro scorte iniziali (e non devono quindi più possederne il doppio, ossia il 200%). Inoltre, i nuovi nati non ereditano le ricchezze dei genitori, ma nascono con una propria scorta di zucchero, pari a 10 unità (ossia la stessa quantità che ereditavano, 5 da ciascun genitore, negli esperimenti precedenti).

Dei quattro lanci effettuati, nessuno si è tradotto in un collasso del sistema, e tutti hanno mostrato dinamiche evolutive del tutto simili tra loro.

Analizziamo innanzitutto l'andamento della popolazione degli agenti:

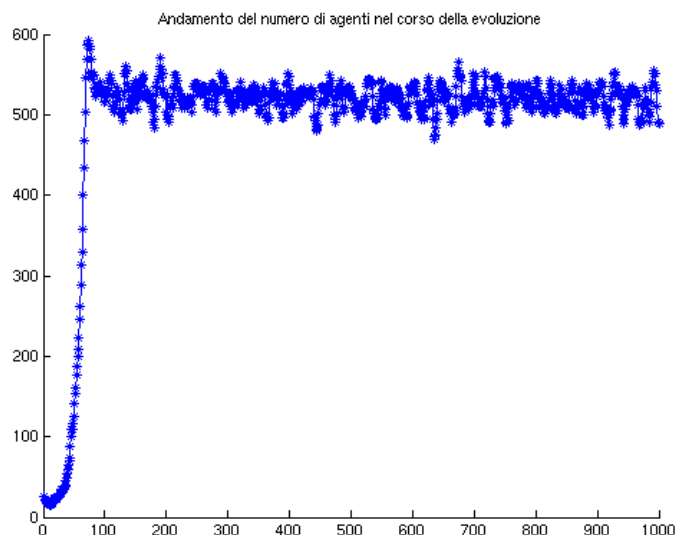


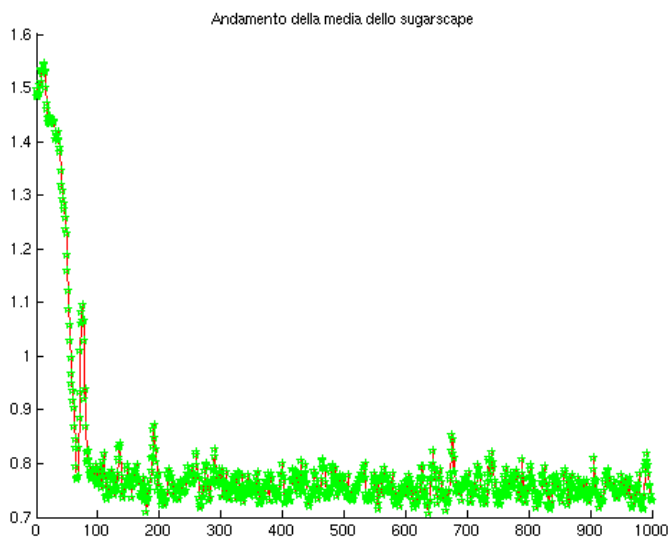
Figura 40

Il comportamento iniziale della curva è quello che ormai ci siamo abituati a vedere: un immediato tracollo, seguito da una crescita quasi-esponenziale. Questo terzo esperimento, però, si differenzia dai primi due per l'elevatissima pendenza di questa salita. In circa una quarantina di steps, il numero di agenti lievita da poco più di 50 a circa 600. In seguito a questa brusca crescita, il sistema ha un piccolo contraccolpo, dopodichè dà inizio al suo processo oscillatorio di aggiustamento, che ci mostra come la capacità portante, in queste particolari condizioni, si attesti su circa 530 agenti.

La “soglia critica” viene dunque abbattuta velocemente già nei primissimi steps ed il sistema può così evolvere per tutti i 1000 passi previsti, senza mai correre il rischio di un collasso.

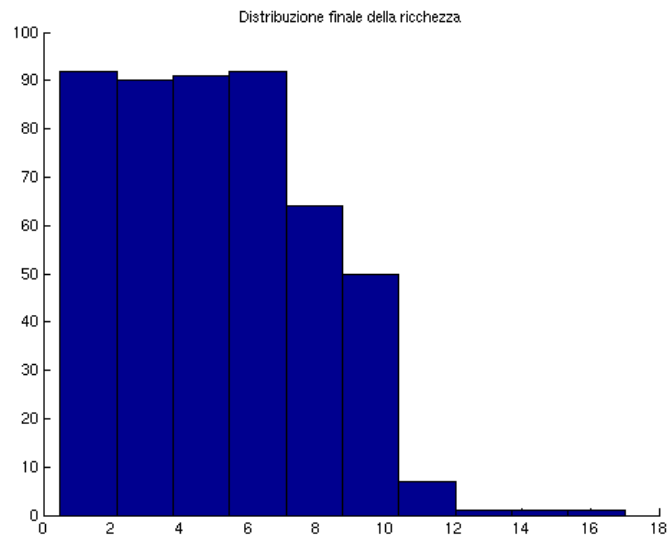
Un innalzamento iniziale così repentino è sicuramente imputabile alle nuove condizioni di riproduzione: non dovendo più lasciare in eredità ai figli una parte delle proprie scorte, gli agenti fertili possono riprodursi molto più frequentemente rispetto agli altri due esperimenti. In particolare, uno stesso agente, con metabolismo basso ed un buon numero di scorte accumulate, può riprodursi una o più volte ad ogni step, per tutta la durata della sua età fertile. Inoltre, il fatto che gli agenti possano riprodursi anche se in possesso di solo il 40% delle loro scorte iniziali, fa sì che già nei primissimi anni successivi alla nascita (tra i 12 ed i 15) un agente sia spesso abbastanza forte da potersi riprodurre.

La capacità portante del sistema, in questo esperimento, è dettata dalle ridotte dimensioni dello Sugarscape, che non permettono la sopravvivenza di un numero di agenti superiore a 600. Ciò è bene evidenziato dal grafico che segue, dove si nota che, mediamente, le celle dello Sugarscape contengono meno di un'unità di zucchero a testa, a testimonianza del fatto che il sistema si trovi sempre in condizione di non poter assicurare un adeguato approvvigionamento di zucchero agli agenti.



**Figura 41**

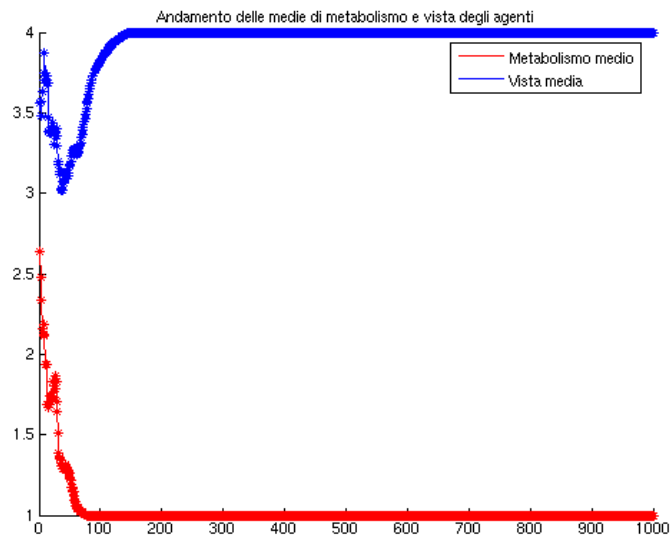
Con un così elevato numero di agenti presenti all'interno del sistema, la poca ricchezza disponibile viene distribuita tra di essi in maniera abbastanza eguale, come mostra il grafico qui sotto:



**Figura 41**

Il coefficiente di Gini calcolato al termine dell'evoluzione, si attese infatti su un valore di poco superiore a 0,20.

Per quanto riguarda infine le caratteristiche degli agenti, anche in questo caso il sistema è stato rapidamente colonizzato da individui a metabolismo 1. Tale parametro, nel modello ridotto dello Sugarscape, assume un'importanza fondamentale soprattutto per via della limitata crescita delle celle di zucchero, che ad ogni step si “ricaricano” soltanto di mezza unità. Ciò penalizza oltremisura gli agenti con un metabolismo alto e, soprattutto, nel lungo periodo provoca l'estinzione anche di quelli con metabolismo 2. Di conseguenza, la vista assume un'importanza secondaria: nel caso che stiamo analizzando, dopo circa 130 passi essa si stabilizza sul valore 4.



**Figura 42**

#### 7.4. Quarto esperimento

Il quarto ed ultimo esperimento prevede le stesse condizioni di riproduzione del terzo, ma è stata limitata la durata dell'età fertile degli agenti. Così come nel secondo esperimento, le soglie massime sono state impostate sull'intervallo [40,50] per gli agenti maschi e su quello [30,40] per gli agenti di sesso femminile.

Dei quattro lanci effettuati, nessuno si è tradotto in un collasso del sistema, e tutti hanno mostrato dinamiche evolutive del tutto simili tra loro.

L'andamento del numero degli agenti nel corso del tempo è pressoché uguale a quello ottenuto nel terzo esperimento: discesa iniziale, impennata fino a quota 600 e successiva stabilizzazione intorno ad un livello di circa 530.

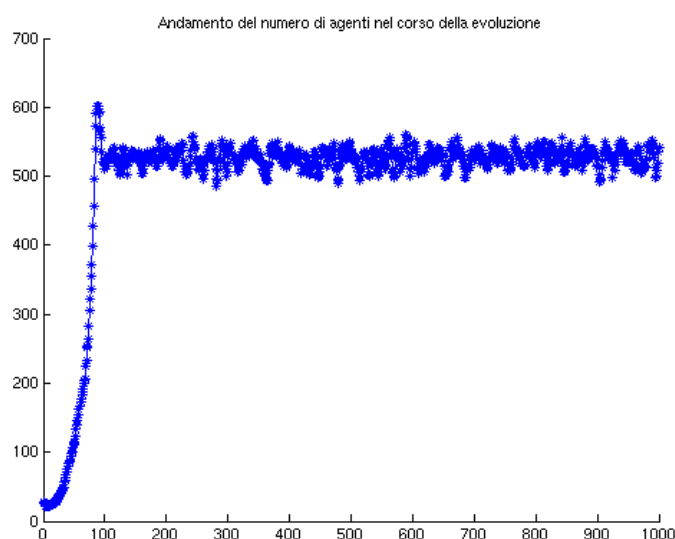
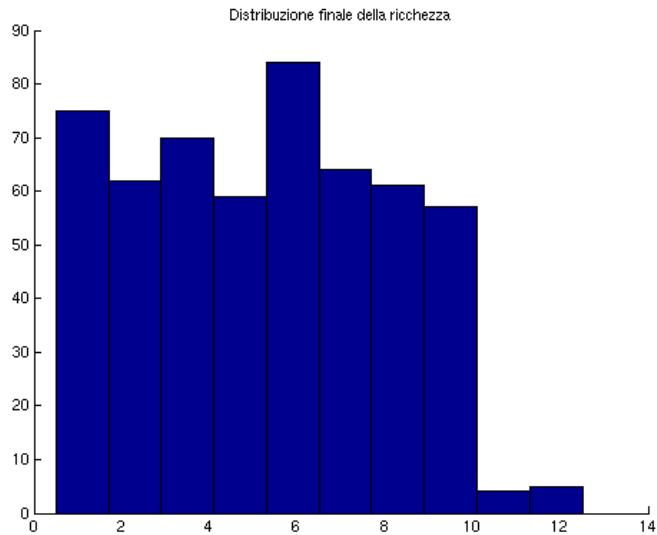


Figura 43

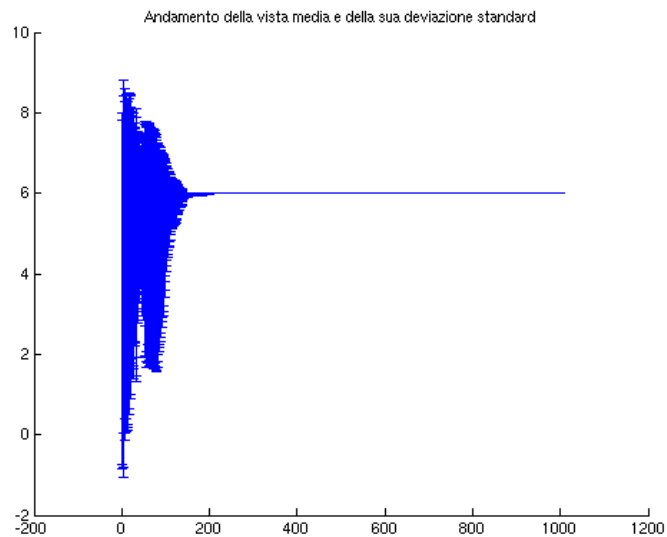
Rispetto alla simulazione precedente, in questa la ricchezza si è distribuita in maniera più diseguale. Il grafico rappresentante la distribuzione della ricchezza ci mostra infatti una diffusione quasi omogenea delle diverse ricchezze tra gli agenti, tranne per ciò che riguarda i livelli di zucchero più alti.



**Figura 44**

Il coefficiente di Gini si aggira attorno al valore di 0,3.

La differenza emersa in maniera più lampante è però l'importanza che in questo esperimento ha avuto la capacità visiva degli agenti, che in tutti i 4 lanci effettuati si è stabilizzata, dopo un numero variabile di passi, sul suo valore massimo, ossia 6.



**Figura 45**

Si potrebbe obiettare che tale comportamento si sarebbe potuto ottenere anche nel terzo esperimento e ciò è senz'altro vero. In questa simulazione, tuttavia, il tempo a disposizione per la riproduzione era minore e quindi tendeva a fornire un vantaggio competitivo agli agenti dotati di una vista elevata, perchè più rapidi a localizzarsi sulle colline dello Sugarscape, raccogliere scorte e quindi riprodursi. A conferma di questo, il grafico qui sopra riportato mostra che la loro opera di colonizzazione del sistema non è stata velocissima, ma si è avuta dopo quasi 200 step evolutivi.

## 7. Appendice

189	178	200	191	186	194	194	180	197	197	184
174	188	178	179	191	200	196	189	183	194	204
208	181	191	191	176	197	197	189	191	190	191
197	195	182	196	179	192	195	198	208	176	200
196	180	186	198	177	204	180	202	185	181	184
202	195	197	194	186	168	175	191	200	194	192
204	180	195	194	200	201	193	179	186	166	186
182	191	196	191	181	192	180	196	197	178	194
203	179	200	202	190	199	182	193	190	191	196
185										

Tabella 1

step	met_medio	vista_medio	scorta_medio	scorta_min	scorta_mediana	scorta_max	numagenti
1	2,98E+06	3,54E+06	9,36E+06	5	9	21	500
2	2,95E+06	3,54E+06	9,01E+06	1	8	28	492
3	2,74E+06	3,54E+06	9,69E+06	1	8	32	441
4	2,61E+06	3,60E+06	1,06E+07	1	9	33	400
5	2,45E+06	3,65E+06	1,22E+07	1	11	40	353
6	2,36E+06	3,66E+06	1,31E+07	1	1,05E+07	41	334
7	2,24E+06	3,68E+06	1,48E+07	1	13	45	305
8	2,18E+06	3,68E+06	1,63E+07	1	15	46	287
9	2,16E+06	3,67E+06	1,74E+07	1	15	49	279
10	2,13E+06	3,67E+06	1,87E+07	1	1,60E+01	54	272
11	2,07E+06	3,72E+06	2,06E+07	1	19	57	258
12	2,01E+06	3,69E+06	2,22E+07	1	2,15E+07	59	250
13	1,98E+06	3,71E+06	2,38E+07	1	23	70	244
14	1,97E+06	3,72E+06	2,53E+07	1	24	72	240
15	1,91E+06	3,74E+06	2,73E+07	1	2,55E+07	78	232
16	1,90E+06	3,76E+06	2,87E+07	1	28	81	230
17	1,87E+06	3,76E+06	3,03E+07	2	28	81	226
18	1,85E+06	3,76E+06	3,19E+07	3	2,95E+07	84	224
19	1,85E+06	3,75E+06	3,33E+07	1	32	83	223
20	1,82E+06	3,74E+06	3,51E+07	3	34	105	220
21	1,82E+06	3,74E+06	3,63E+07	2	36	110	220
22	1,80E+06	3,73E+06	3,80E+07	2	3,75E+07	118	218
23	1,79E+06	3,73E+06	3,95E+07	1	38	126	217
24	1,77E+06	3,71E+06	4,12E+07	1	40	128	215
25	1,75E+06	3,70E+06	4,25E+07	3	41	127	214
26	1,74E+06	3,69E+06	4,40E+07	2	43	129	213
27	1,74E+06	3,69E+06	4,57E+07	2	45	128	212
28	1,73E+06	3,70E+06	4,72E+07	2	47	133	211
29	1,72E+06	3,71E+06	4,88E+07	1	48	132	210
30	1,71E+06	3,71E+06	5,04E+07	3	52	134	209
31	1,71E+06	3,71E+06	5,19E+07	2	52	136	209
32	1,71E+06	3,71E+06	5,33E+07	1	54	135	209
33	1,70E+06	3,72E+06	5,50E+07	1	55	140	208
34	1,69E+06	3,71E+06	5,67E+07	1	57	145	207
35	1,69E+06	3,71E+06	5,83E+07	1	5,80E+01	147	207
36	1,68E+06	3,72E+06	6,01E+07	2	5,90E+01	150	206
37	1,68E+06	3,72E+06	6,14E+07	2	62	149	206
38	1,68E+06	3,72E+06	6,29E+07	2	6,35E+07	152	206
39	1,68E+06	3,72E+06	6,45E+07	2	65	155	206
40	1,68E+06	3,72E+06	6,59E+07	2	6,55E+07	154	206
41	1,68E+06	3,72E+06	6,74E+07	2	6,75E+07	163	206
42	1,68E+06	3,72E+06	6,89E+07	1	7,00E+01	165	206
43	1,68E+06	3,73E+06	7,08E+07	3	7,20E+01	164	205
44	1,68E+06	3,73E+06	7,22E+07	1	75	166	205
45	1,68E+06	3,73E+06	7,37E+07	1	7,50E+01	168	205
46	1,68E+06	3,73E+06	7,52E+07	1	77	171	205
47	1,67E+06	3,72E+06	7,70E+07	1	77	178	204
48	1,67E+06	3,71E+06	7,89E+07	2	78	184	203
49	1,67E+06	3,70E+06	8,09E+07	1	8,15E+07	183	202
50	1,67E+06	3,70E+06	8,24E+07	1	8,40E+01	182	202
51	1,67E+06	3,71E+06	8,48E+07	1	85	185	200
52	1,67E+06	3,71E+06	8,63E+07	1	89	184	200
53	1,67E+06	3,72E+06	8,83E+07	4	89	187	199
54	1,67E+06	3,72E+06	8,99E+07	5	91	186	199
55	1,67E+06	3,72E+06	9,15E+07	2	91	189	199
56	1,67E+06	3,72E+06	9,31E+07	4	93	192	199
57	1,67E+06	3,72E+06	9,47E+07	4	97	194	199
58	1,67E+06	3,72E+06	9,62E+07	4	96	202	199
59	1,67E+06	3,72E+06	9,77E+07	2	1,01E+02	201	199
60	1,66E+06	3,73E+06	9,98E+07	3	104	203	198
61	1,66E+06	3,73E+06	1,01E+08	3	1,04E+08	204	198
62	1,66E+06	3,73E+06	1,03E+08	2	1,05E+02	213	198
63	1,66E+06	3,73E+06	1,05E+08	2	1,08E+08	223	198
64	1,66E+06	3,73E+06	1,06E+08	4	1,07E+08	226	198
65	1,66E+06	3,73E+06	1,08E+08	1	1,13E+08	229	198
66	1,66E+06	3,73E+06	1,09E+08	1	114	232	198
67	1,65E+06	3,72E+06	1,11E+08	4	1,15E+02	234	197
68	1,65E+06	3,72E+06	1,13E+08	4	116	236	197

69	1,65E+06	3,72E+06	1,15E+08	3	117	242	197
70	1,65E+06	3,72E+06	1,16E+08	3	118	246	197
71	1,65E+06	3,72E+06	1,18E+08	3	119	252	197
72	1,65E+06	3,72E+06	1,19E+08	3	1,21E+02	251	197
73	1,65E+06	3,72E+06	1,21E+08	3	1,22E+02	261	197
74	1,65E+06	3,72E+06	1,22E+08	2	122	268	197
75	1,64E+06	3,70E+06	1,25E+08	3	1,25E+08	270	196
76	1,64E+06	3,70E+06	1,26E+08	2	1,29E+08	269	196
77	1,64E+06	3,70E+06	1,28E+08	2	1,31E+08	268	196
78	1,64E+06	3,70E+06	1,29E+08	1	1,32E+02	267	196
79	1,64E+06	3,70E+06	1,31E+08	1	131	270	196
80	1,64E+06	3,70E+06	1,33E+08	2	1,32E+02	286	195
81	1,64E+06	3,70E+06	1,34E+08	3	1,38E+02	285	195
82	1,64E+06	3,70E+06	1,36E+08	3	1,39E+02	290	195
83	1,64E+06	3,70E+06	1,38E+08	3	1,39E+02	295	195
84	1,64E+06	3,70E+06	1,39E+08	3	141	297	195
85	1,64E+06	3,70E+06	1,41E+02	2	141	299	195
86	1,64E+06	3,70E+06	1,43E+08	2	143	298	195
87	1,64E+06	3,70E+06	1,44E+08	1	1,42E+02	301	195
88	1,64E+06	3,70E+06	1,46E+08	1	143	300	195
89	1,64E+06	3,70E+06	1,47E+08	1	147	299	195
90	1,64E+06	3,71E+06	1,50E+08	2	1,48E+02	304	194
91	1,64E+06	3,71E+06	1,51E+08	2	1,49E+02	310	194
92	1,64E+06	3,71E+06	1,53E+08	4	151	312	194
93	1,64E+06	3,71E+06	1,55E+08	4	1,53E+02	318	194
94	1,64E+06	3,71E+06	1,56E+08	3	154	324	194
95	1,64E+06	3,71E+06	1,58E+08	2	155	334	194
96	1,64E+06	3,71E+06	1,59E+08	2	160	336	194
97	1,64E+06	3,71E+06	1,61E+08	4	1,62E+08	338	194
98	1,64E+06	3,71E+06	1,62E+08	3	1,62E+08	337	194
99	1,64E+06	3,71E+06	1,65E+08	5	1,65E+02	340	193
100	1,64E+06	3,71E+06	1,67E+08	4	165	339	193
101	1,64E+06	3,71E+06	1,68E+08	4	168	338	193
102	1,64E+06	3,71E+06	1,70E+08	3	170	344	193
103	1,64E+06	3,71E+06	1,72E+08	2	171	350	193
104	1,64E+06	3,71E+06	1,73E+08	3	175	352	193
105	1,64E+06	3,71E+06	1,75E+08	3	1,77E+02	359	193
106	1,64E+06	3,71E+06	1,76E+08	3	177	360	193
107	1,64E+06	3,71E+06	1,78E+08	3	1,78E+02	366	193
108	1,64E+06	3,71E+06	1,80E+08	2	1,82E+02	365	193
109	1,64E+06	3,71E+06	1,81E+08	3	1,81E+02	364	193
110	1,64E+06	3,71E+06	1,83E+08	4	1,82E+02	370	193
111	1,64E+06	3,71E+06	1,85E+08	3	1,83E+02	372	193
112	1,64E+06	3,71E+06	1,86E+08	3	1,85E+02	371	193
113	1,64E+06	3,71E+06	1,88E+08	3	1,87E+02	376	193
114	1,64E+06	3,71E+06	1,90E+08	2	187	375	193
115	1,64E+06	3,71E+06	1,91E+08	1	1,89E+02	376	193
116	1,64E+06	3,71E+06	1,94E+08	5	196	382	192
117	1,64E+06	3,71E+06	1,96E+08	5	1,97E+08	386	192
118	1,64E+06	3,71E+06	1,97E+08	5	2,02E+08	388	192
119	1,64E+06	3,71E+06	1,99E+08	5	2,05E+08	394	192
120	1,64E+06	3,71E+06	2,00E+08	6	2,08E+02	405	192
121	1,64E+06	3,71E+06	2,02E+08	5	2,08E+02	408	192
122	1,64E+06	3,71E+06	2,04E+08	4	2,08E+02	407	192
123	1,64E+06	3,71E+06	2,05E+08	1	2,08E+08	406	192
124	1,63E+06	3,71E+06	2,08E+08	6	207	418	191
125	1,63E+06	3,71E+06	2,10E+08	6	214	417	191
126	1,63E+06	3,71E+06	2,11E+08	5	212	420	191
127	1,63E+06	3,71E+06	2,13E+08	7	2,10E+02	426	191
128	1,63E+06	3,71E+06	2,15E+08	7	216	428	191
129	1,63E+06	3,71E+06	2,16E+08	7	2,14E+02	431	191
130	1,63E+06	3,71E+06	2,18E+08	8	2,13E+02	434	191
131	1,63E+06	3,71E+06	2,20E+08	9	2,15E+02	440	191
132	1,63E+06	3,71E+06	2,21E+08	9	2,17E+02	448	191
133	1,63E+06	3,71E+06	2,23E+08	9	218	454	191
134	1,63E+06	3,71E+06	2,24E+08	10	2,19E+02	460	191
135	1,63E+06	3,71E+06	2,26E+08	9	2,24E+02	467	191
136	1,63E+06	3,71E+06	2,28E+08	8	225	473	191
137	1,63E+06	3,71E+06	2,30E+08	7	2,31E+02	482	191
138	1,63E+06	3,71E+06	2,31E+08	9	232	487	191
139	1,63E+06	3,71E+06	2,33E+08	9	2,33E+02	486	191
140	1,63E+06	3,71E+06	2,35E+08	8	2,34E+02	488	191
141	1,63E+06	3,71E+06	2,36E+08	9	235	490	191
142	1,63E+06	3,71E+06	2,38E+08	9	2,38E+02	492	191
143	1,63E+06	3,71E+06	2,40E+08	9	2,41E+02	494	191
144	1,63E+06	3,71E+06	2,41E+08	8	240	493	191
145	1,63E+06	3,71E+06	2,43E+08	5	2,44E+02	497	191
146	1,63E+06	3,71E+06	2,45E+08	6	2,47E+02	502	191
147	1,63E+06	3,71E+06	2,46E+08	11	2,47E+02	501	191
148	1,63E+06	3,71E+06	2,48E+08	10	250	506	191
149	1,63E+06	3,71E+06	2,50E+08	11	249	509	191
150	1,63E+06	3,71E+06	2,51E+08	10	2,48E+02	516	191
151	1,63E+06	3,71E+06	2,53E+08	9	246	522	191
152	1,63E+06	3,71E+06	2,55E+08	9	253	521	191
153	1,63E+06	3,71E+06	2,56E+08	8	2,54E+02	527	191
154	1,63E+06	3,71E+06	2,58E+08	8	2,52E+02	529	191
155	1,63E+06	3,71E+06	2,59E+08	7	255	534	191
156	1,63E+06	3,71E+06	2,61E+08	7	2,55E+02	533	191
157	1,63E+06	3,71E+06	2,63E+08	6	2,58E+02	535	191
158	1,63E+06	3,71E+06	2,65E+08	8	2,58E+02	534	191
159	1,63E+06	3,71E+06	2,66E+08	6	2,63E+02	536	191
160	1,63E+06	3,71E+06	2,68E+08	3	265	541	191
161	1,63E+06	3,71E+06	2,69E+08	4	2,64E+02	543	191
162	1,63E+06	3,71E+06	2,71E+08	4	2,65E+02	549	191
163	1,63E+06	3,71E+06	2,73E+08	4	2,71E+02	551	191
164	1,63E+06	3,71E+06	2,74E+08	7	273	556	191
165	1,63E+06	3,71E+06	2,76E+08	8	2,73E+02	555	191
166	1,63E+06	3,71E+06	2,78E+08	5	276	554	191
167	1,63E+06	3,71E+06	2,79E+08	2	277	553	191
168	1,63E+06	3,71E+06	2,82E+08	11	280	561	190
169	1,63E+06	3,71E+06	2,84E+08	13	2,82E+02	560	190
170	1,63E+06	3,71E+06	2,86E+08	14	282	565	190
171	1,63E+06	3,71E+06	2,87E+08	14	2,83E+02	567	190
172	1,63E+06	3,71E+06	2,89E+08	14	2,83E+08	566	190
173	1,63E+06	3,71E+06	2,91E+08	14	2,81E+02	565	190
174	1,63E+06	3,71E+06	2,92E+08	13	288	576	190

175	1,63E+06	3,71E+06	2,94E+08	13	2,88E+08	578	190
176	1,63E+06	3,71E+06	2,96E+08	12	2,90E+08	577	190
177	1,63E+06	3,71E+06	2,97E+08	13	293	576	190
178	1,63E+06	3,71E+06	2,99E+08	13	2,95E+02	578	190
179	1,63E+06	3,71E+06	3,01E+08	13	2,96E+08	580	190
180	1,63E+06	3,71E+06	3,02E+08	12	2,99E+08	579	190
181	1,63E+06	3,71E+06	3,04E+08	11	3,00E+02	582	190
182	1,63E+06	3,71E+06	3,06E+08	11	3,01E+02	585	190
183	1,63E+06	3,71E+06	3,07E+08	12	3,01E+02	597	190
184	1,63E+06	3,71E+06	3,09E+08	11	3,06E+02	599	190
185	1,63E+06	3,71E+06	3,11E+08	10	3,10E+08	601	190
186	1,63E+06	3,71E+06	3,12E+08	9	3,11E+02	612	190
187	1,63E+06	3,71E+06	3,14E+08	10	3,11E+08	611	190
188	1,63E+06	3,71E+06	3,16E+08	9	3,11E+08	610	190
189	1,63E+06	3,71E+06	3,18E+08	8	3,12E+08	618	190
190	1,63E+06	3,71E+06	3,19E+08	9	3,14E+08	620	190
191	1,63E+06	3,71E+06	3,21E+08	9	3,16E+08	619	190
192	1,63E+06	3,71E+06	3,22E+08	9	3,19E+02	618	190
193	1,63E+06	3,71E+06	3,24E+08	9	3,21E+02	621	190
194	1,63E+06	3,71E+06	3,26E+08	9	3,23E+02	620	190
195	1,63E+06	3,71E+06	3,28E+08	9	3,28E+08	622	190
196	1,63E+06	3,71E+06	3,29E+08	9	3,26E+08	630	190
197	1,63E+06	3,71E+06	3,31E+08	8	3,29E+08	629	190
198	1,63E+06	3,71E+06	3,33E+08	10	3,28E+02	628	190
199	1,63E+06	3,71E+06	3,34E+08	11	3,29E+08	630	190
200	1,63E+06	3,71E+06	3,36E+08	13	3,28E+02	636	190
201	1,63E+06	3,71E+06	3,38E+08	12	3,26E+02	635	190
202	1,63E+06	3,71E+06	3,39E+08	12	328	634	190
203	1,63E+06	3,71E+06	3,41E+08	11	3,29E+02	636	190
204	1,63E+06	3,71E+06	3,43E+08	10	3,33E+02	635	190
205	1,63E+06	3,71E+06	3,44E+08	10	3,34E+08	640	190
206	1,63E+06	3,71E+06	3,46E+08	10	3,33E+02	645	190
207	1,63E+06	3,71E+06	3,48E+08	10	3,33E+08	644	190
208	1,63E+06	3,71E+06	3,49E+08	10	3,36E+08	646	190
209	1,63E+06	3,71E+06	3,51E+08	9	3,42E+08	645	190
210	1,63E+06	3,71E+06	3,53E+08	12	3,45E+08	644	190
211	1,63E+06	3,71E+06	3,55E+08	13	3,49E+08	646	190
212	1,63E+06	3,71E+06	3,56E+08	13	3,49E+08	650	190
213	1,63E+06	3,71E+06	3,58E+08	12	3,49E+02	652	190
214	1,63E+06	3,71E+06	3,60E+08	14	3,54E+08	654	190
215	1,63E+06	3,71E+06	3,61E+08	12	3,54E+02	656	190
216	1,63E+06	3,71E+06	3,63E+08	15	3,58E+08	658	190
217	1,63E+06	3,71E+06	3,65E+08	15	3,59E+02	665	190
218	1,63E+06	3,71E+06	3,66E+08	15	3,61E+08	670	190
219	1,63E+06	3,71E+06	3,68E+08	15	3,64E+08	676	190
220	1,63E+06	3,71E+06	3,70E+08	12	3,62E+02	681	190
221	1,63E+06	3,71E+06	3,71E+08	12	3,65E+02	680	190
222	1,63E+06	3,71E+06	3,73E+08	15	3,65E+08	679	190
223	1,63E+06	3,71E+06	3,75E+08	17	367	681	190
224	1,63E+06	3,71E+06	3,76E+08	17	3,70E+08	680	190
225	1,63E+06	3,71E+06	3,78E+08	16	3,70E+02	682	190
226	1,63E+06	3,71E+06	3,80E+08	16	3,68E+02	681	190
227	1,63E+06	3,71E+06	3,82E+08	17	3,69E+08	689	190
228	1,63E+06	3,71E+06	3,83E+08	17	3,68E+02	694	190
229	1,63E+06	3,71E+06	3,85E+08	16	3,71E+08	696	190
230	1,63E+06	3,71E+06	3,87E+08	16	3,73E+02	695	190
231	1,63E+06	3,71E+06	3,88E+08	15	3,73E+08	694	190
232	1,63E+06	3,71E+06	3,90E+08	15	373	693	190
233	1,63E+06	3,71E+06	3,92E+08	17	375	695	190
234	1,63E+06	3,71E+06	3,93E+08	18	379	697	190
235	1,63E+06	3,71E+06	3,95E+08	15	3,81E+02	702	190
236	1,63E+06	3,71E+06	3,97E+08	15	383	701	190
237	1,63E+06	3,71E+06	3,98E+08	12	385	700	190
238	1,63E+06	3,71E+06	4,00E+08	9	3,88E+02	705	190
239	1,63E+06	3,71E+06	4,02E+08	6	390	713	190
240	1,63E+06	3,71E+06	4,04E+08	6	3,93E+08	716	190
241	1,63E+06	3,71E+06	4,05E+08	3	3,96E+08	723	190
242	1,62E+06	3,71E+06	4,09E+08	16	3,99E+02	722	189
243	1,62E+06	3,71E+06	4,11E+08	15	4,04E+02	721	189
244	1,62E+06	3,71E+06	4,13E+08	16	4,05E+02	728	189
245	1,62E+06	3,71E+06	4,14E+08	16	4,07E+02	731	189
246	1,62E+06	3,71E+06	4,16E+08	16	405	737	189
247	1,62E+06	3,71E+06	4,18E+08	15	4,07E+02	739	189
248	1,62E+06	3,71E+06	4,20E+08	14	408	738	189
249	1,62E+06	3,71E+06	4,21E+08	14	4,09E+02	745	189
250	1,62E+06	3,71E+06	4,23E+08	14	409	744	189
251	1,62E+06	3,71E+06	4,25E+08	13	4,09E+02	747	189
252	1,62E+06	3,71E+06	4,26E+08	17	410	753	189
253	1,62E+06	3,71E+06	4,28E+08	16	4,09E+02	755	189
254	1,62E+06	3,71E+06	4,30E+08	15	4,11E+02	757	189
255	1,62E+06	3,71E+06	4,31E+08	16	4,12E+02	759	189
256	1,62E+06	3,71E+06	4,33E+08	15	4,14E+02	758	189
257	1,62E+06	3,71E+06	4,35E+08	14	416	769	189
258	1,62E+06	3,71E+06	4,36E+08	13	4,17E+02	777	189
259	1,62E+06	3,71E+06	4,38E+08	14	418	779	189
260	1,62E+06	3,71E+06	4,40E+08	13	4,20E+02	781	189
261	1,62E+06	3,71E+06	4,42E+08	12	4,22E+02	783	189
262	1,62E+06	3,71E+06	4,43E+08	11	4,22E+02	786	189
263	1,62E+06	3,71E+06	4,45E+08	11	424	796	189
264	1,62E+06	3,71E+06	4,47E+08	12	426	799	189
265	1,62E+06	3,71E+06	4,48E+08	14	4,27E+02	798	189
266	1,62E+06	3,71E+06	4,50E+08	16	429	801	189
267	1,62E+06	3,71E+06	4,52E+08	16	432	800	189
268	1,62E+06	3,71E+06	4,53E+08	15	4,31E+02	803	189
269	1,62E+06	3,71E+06	4,55E+08	15	433	802	189
270	1,62E+06	3,71E+06	4,57E+08	14	4,31E+02	811	189
271	1,62E+06	3,71E+06	4,58E+08	14	4,33E+02	821	189
272	1,62E+06	3,71E+06	4,60E+08	13	4,39E+02	820	189
273	1,62E+06	3,71E+06	4,62E+08	13	440	823	189
274	1,62E+06	3,71E+06	4,63E+08	12	4,41E+02	822	189
275	1,62E+06	3,71E+06	4,65E+08	12	4,42E+02	824	189
276	1,62E+06	3,71E+06	4,67E+08	11	4,42E+02	827	189
277	1,62E+06	3,71E+06	4,69E+08	11	4,43E+02	833	189
278	1,62E+06	3,71E+06	4,70E+08	11	4,45E+02	835	189
279	1,62E+06	3,71E+06	4,72E+08	10	4,47E+02	838	189
280	1,62E+06	3,71E+06	4,74E+08	11	4,48E+02	837	189

281	1,62E+06	3,71E+06	4,76E+08	10	453	843	189
282	1,62E+06	3,71E+06	4,77E+08	9	4,54E+02	848	189
283	1,62E+06	3,71E+06	4,79E+08	8	4,56E+02	847	189
284	1,62E+06	3,71E+06	4,81E+08	8	4,59E+02	852	189
285	1,62E+06	3,71E+06	4,82E+08	7	460	854	189
286	1,62E+06	3,71E+06	4,84E+08	9	4,60E+02	853	189
287	1,62E+06	3,71E+06	4,86E+08	10	4,59E+02	855	189
288	1,62E+06	3,71E+06	4,87E+08	12	4,60E+02	861	189
289	1,62E+06	3,71E+06	4,89E+08	12	4,65E+02	867	189
290	1,62E+06	3,71E+06	4,91E+08	12	4,67E+02	866	189
291	1,62E+06	3,71E+06	4,92E+08	13	4,69E+02	868	189
292	1,62E+06	3,71E+06	4,94E+08	13	4,70E+02	867	189
293	1,62E+06	3,71E+06	4,96E+08	13	4,77E+02	869	189
294	1,62E+06	3,71E+06	4,98E+08	12	479	879	189
295	1,62E+06	3,71E+06	4,99E+08	11	4,79E+02	881	189
296	1,62E+06	3,71E+06	5,01E+08	12	481	885	189
297	1,62E+06	3,71E+06	5,03E+08	14	482	888	189
298	1,62E+06	3,71E+06	5,04E+08	14	485	887	189
299	1,62E+06	3,71E+06	5,06E+08	15	4,85E+02	886	189
300	1,62E+06	3,71E+06	5,08E+08	15	4,88E+02	885	189

**Tabella 2**

vista	metabolismo	capacita_di_carico	
	1	1	453
	1	1	443
	1	1	448
	1	2	298
	1	2	289
	1	2	291
	1	3	104
	1	3	104
	1	3	104
	1	4	3
	1	4	3
	1	4	4
	1	5	0
	1	5	0
	1	5	0
	2	1	455
	2	1	447
	2	1	449
	2	2	305
	2	2	314
	2	2	313
	2	3	132
	2	3	123
	2	3	131
	2	4	8
	2	4	6
	2	4	6
	2	5	0
	2	5	0
	2	5	0
	3	1	457
	3	1	466
	3	1	448
	3	2	332
	3	2	324
	3	2	321
	3	3	146
	3	3	139
	3	3	145
	3	4	6
	3	4	8
	3	4	7
	3	5	0
	3	5	0
	3	5	0
	4	1	465
	4	1	463
	4	1	463
	4	2	359
	4	2	351
	4	2	346
	4	3	147
	4	3	151
	4	3	147
	4	4	9
	4	4	7
	4	4	8
	4	5	0
	4	5	0
	4	5	0
	5	1	474
	5	1	466
	5	1	473
	5	2	355
	5	2	372
	5	2	351
	5	3	151
	5	3	146

5	3	156
5	4	7
5	4	7
5	4	9
5	5	0
5	5	0
5	5	0
6	1	471
6	1	466
6	1	467
6	2	367
6	2	359
6	2	378
6	3	148
6	3	149
6	3	144
6	4	7
6	4	8
6	4	7
6	5	0
6	5	0
6	5	0
7	1	482
7	1	488
7	1	478
7	2	374
7	2	377
7	2	377
7	3	149
7	3	151
7	3	151
7	4	9
7	4	6
7	4	9
7	5	0
7	5	0
7	5	0
8	1	480
8	1	480
8	1	481
8	2	383
8	2	391
8	2	383
8	3	151
8	3	142
8	3	143
8	4	8
8	4	9
8	4	8
8	5	0
8	5	0
8	5	0
9	1	481
9	1	481
9	1	488
9	2	389
9	2	391
9	2	381
9	3	144
9	3	152
9	3	143
9	4	9
9	4	8
9	4	6
9	5	0
9	5	0
9	5	0
10	1	490
10	1	491
10	1	489
10	2	383

10	2	394
10	2	386
10	3	149
10	3	137
10	3	138
10	4	7
10	4	7
10	4	7
10	5	0
10	5	0
10	5	0

**Tabella 3**