

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria e Scienze Informatiche

**Foraging, Corpse Clustering e Suddivisione
dei Task:
una simulazione basata sul comportamento
delle formiche**

**Autore:
Francesco Cozzolino**

Introduzione

La stigmergy è una forma di coordinazione indiretta, che avviene tra agenti, tramite modifiche nell'ambiente. Le formiche sono una tra le specie animali che sfruttano questo tipo di coordinazione.

Le formiche che si occupano della ricerca del cibo, una volta individuato, durante il ritorno al formicaio, rilasciano del feromone nell'ambiente; in modo da comunicare il percorso da effettuare. Le formiche tendono a seguire il percorso che presenta la maggiore concentrazione di feromone. Questa forma di coordinazione indiretta, genera il fenomeno emergente dello shortest path. Le formiche, inoltre, all'interno del formicaio, effettuano corpse clustering nelle zone in cui sono custodite le larve; in modo da proteggerle.

Ispirandosi al comportamento delle formiche, si è voluto simulare, tramite MAS, il fenomeno del foraging e del corpse clustering; adottando come meccanismo di coordinazione indiretta la stigmergy. Per quanto concerne il foraging, sono state realizzate diverse metodologie. Inoltre, è stato realizzato una forma di trasporto cooperativo in caso di oggetti troppo pesanti per il singolo agente.

Lo scopo di questa simulazione è:

- Riprodurre il foraging delle formiche; con lo scopo di ottenere come risultato di un fenomeno emergente, lo shortest path
- Ottenere il trasporto cooperativo come risultato di un fenomeno emergente
- Effettuare corpse clustering degli oggetti recuperati

- Suddivisione del lavoro tra foraging e corpse clustering

La tecnologia scelta per questa simulazione è il linguaggio ad agenti Jason.

Indice

Introduzione	i
1 Modello	1
1.1 Arena	2
1.2 Foraging	3
1.2.1 Ambiente statico	5
1.2.2 Ambiente dinamico	22
1.2.3 Conclusioni	30
1.3 Trasporto cooperativo	31
1.4 Corpse clustering	32
1.5 Suddivisione dei task	34
2 Comportamento	37
3 Conclusioni	41
Riferimenti	43

Capitolo 1

Modello

Il modello realizzato è una semplificazione della realtà e prevede l'utilizzo di diversi tipi di feromone; si assume che questi possano coesistere nell'ambiente.

Il modello si ispira al comportamento delle formiche, ma non lo replica completamente; poiché alcuni comportamenti restano ancora sconosciuti alla comunità scientifica o variano a seconda della specie.

1.1 Arena

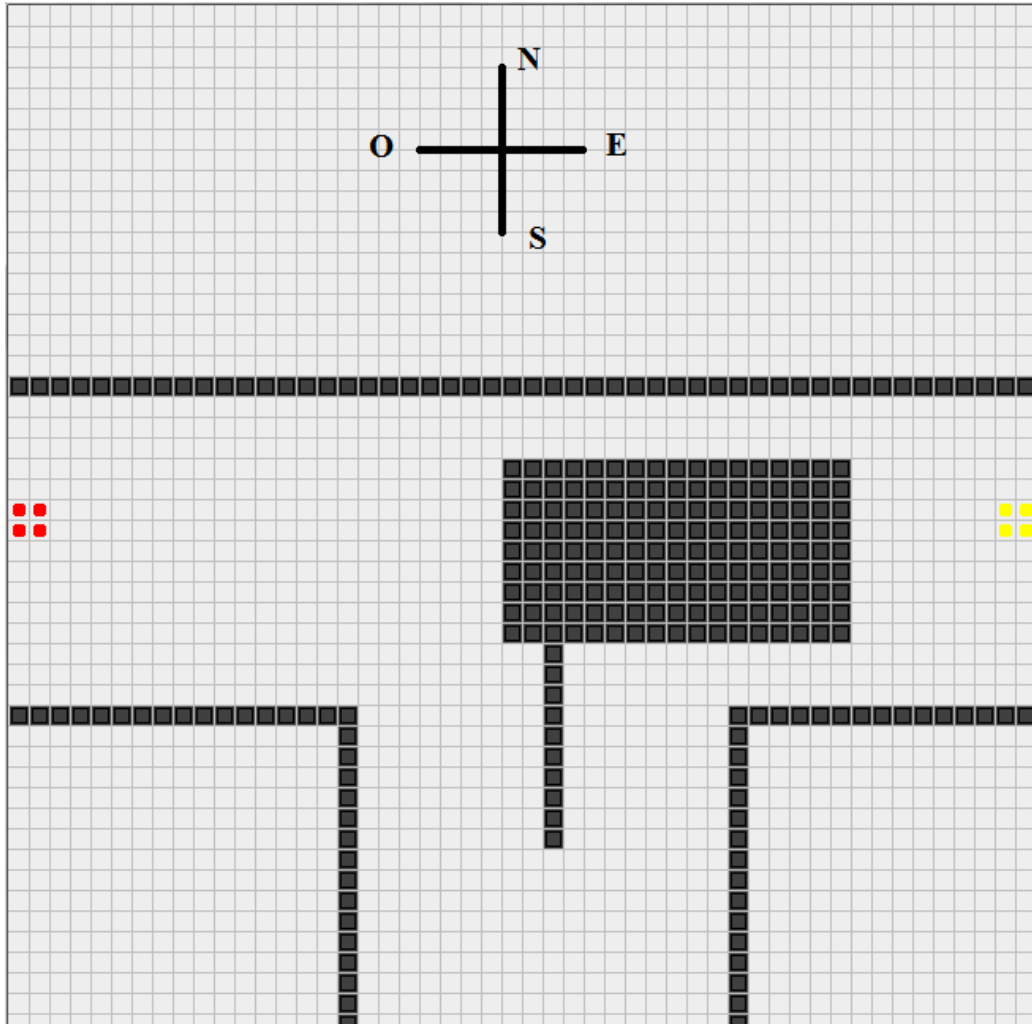


Figura 1.1: Arena

L'arena è formata da una griglia 100x100 non toroidale, suddivisa in due parti.

L'area all'interno dei bordi grigi, rappresenta l'ambiente esplorabile dagli agenti. L'area in rosso rappresenta il nido degli agenti; l'area in giallo la zona in cui sono presenti gli oggetti. Come visibile, al centro è presente un ostacolo dalla forma asimmetrica.

La parte superiore dell'arena rappresenta l'interno del nido; nella quale ver-

ranno depositati gli oggetti recuperati.

Agli agenti è associato un colore che rappresenta il loro stato; che può essere:

- verde: l'agente è alla ricerca degli oggetti o è di ritorno al nido
- blu: l'agente è di ritorno al nido con un oggetto
- arancione: trasporto cooperativo

1.2 Foraging

Per replicare il fenomeno dell'ant-foraging, sono state realizzate tre metodologie. Di seguito sono presenti i parametri utilizzati per testare le diverse metodologie:

Parametri	Valori
N. Agenti	100
Feromone min.	0
Feromone max.	1000
Feromone rilasciato	10
% Evaporazione	30 %
Tempo evaporazione	10 s
Refresh rate	50 ms

Per ogni metodologia, inoltre, sono presenti tre tipologie di movimento.

La prima tipologia consente all'agente di muoversi in ogni direzione (8 possibili direzioni: N, NE, NO, S, SE, SO, E, O).

La seconda tipologia, in base all'obiettivo dell'agente, consente uno spostamento in 5 possibili direzioni. Se l'agente è alla ricerca degli oggetti, potrà spostarsi solo nelle seguenti direzioni: N, S, E, NE e SE. Se l'agente è di ritorno al nido, invece, potrà spostarsi nelle seguenti direzioni: N, E, O, NO e SO.

Infine, la terza tipologia di movimento, è di tipo prioritario. Si valutano inizialmente le tre direzioni che si trovano dinanzi all'agente. Se non dovesse

essere possibile uno spostamento in una delle tre possibili posizioni, si valuteranno le direzioni ai lati dell'agente ed, eventualmente, le tre restanti da cui esso proviene (Es: se l'agente proviene da O, si considerano le direzioni NE, E e SE).

L'agente, per ogni metodologia, è stato modellato in modo che non ricordi il percorso effettuato.

Le tre metodologie, verranno analizzate prima in un'arena con un solo ostacolo; successivamente, in una situazione in cui verrà aggiunto un ulteriore ostacolo durante l'esecuzione del sistema.

Come criterio di valutazione, verranno eseguite 5 istanze per ogni possibile configurazione e, per determinare l'efficacia, si prenderà la media degli oggetti riportati al nido in un certo intervallo di tempo. In condizioni di ambiente statico, verranno considerati gli oggetti recuperati in 5 minuti. In condizioni di ambiente dinamico, verranno considerati gli oggetti recuperati negli 8 minuti successivi alla comparsa dell'ostacolo.

Nella seguente figura è rappresentato lo shortest path che dovrebbe emergere.

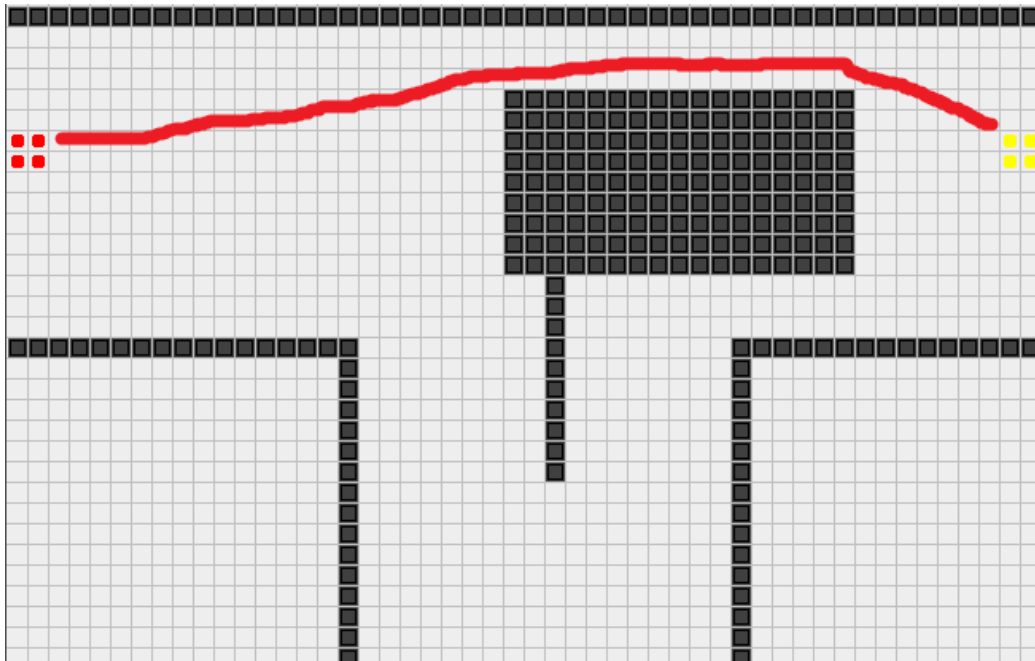


Figura 1.2: Shortest path

1.2.1 Ambiente statico

Metodologia 1

La prima metodologia è stata sviluppata sulla base dell'algoritmo Ant System; il primo algoritmo ACO.

Tale algoritmo, per determinare la posizione successiva, nella quale l'agente dovrà spostarsi, prende in considerazione due valori:

- L'aspettativa a priori η ; indica l'attrattività a priori della mossa.
- Il livello di feromone τ ; indica l'utilità a posteriori della mossa.

L'aspettativa a priori è stata calcolata tramite la seguente euristica:

```
for(int column=0;column<100;column++){
    for(int row=0;row<100;row++){
        eta[column][row]= maxDistance - distance[column][row];
    }
}
```

L'euristica è stata calcolata sia per la zona in cui sono presenti gli oggetti che per il nido.

Come visibile, l'attrattività per una coordinata, è data dalla differenza tra la distanza dal punto di interesse e quella massima in assoluto. La distanza tra due punti i, j , è stata calcolata come: $|x_i - x_j| + |y_i - y_j|$.

Sia per il nido, che per la zona in cui sono presenti gli oggetti, i punti di interesse sono quattro; per cui, sono state sommate le attrattività dei vari punti di interesse.

Per un agente k , La probabilità $p_{\iota\psi}^k$ di muoversi dalla posizione ι alla posizione ψ , è data da:
$$p_{\iota\psi}^k = \frac{\tau_{\iota\psi}^\alpha \eta_{\iota\psi}^\beta}{\sum_k \tau_{\iota k}^\alpha \eta_{\iota k}^\beta}.$$

Se $\alpha > \beta$, l'agente avrà maggiori possibilità di seguire il percorso con più feromone. Viceversa, verrà dato un maggior peso all'attrattività a priori della

mossa. In questa metodologia, la somma dei due parametri è uguale a 1 e ogni agente ha un α compreso tra 0.4 e 0.6 e $\beta = 1 - \alpha$.

Una volta calcolata la probabilità per ogni direzione, la posizione successiva viene determinata tramite un'estrazione montecarlo.

Il feromone viene rilasciato dagli agenti solo quando sono di ritorno al nido.

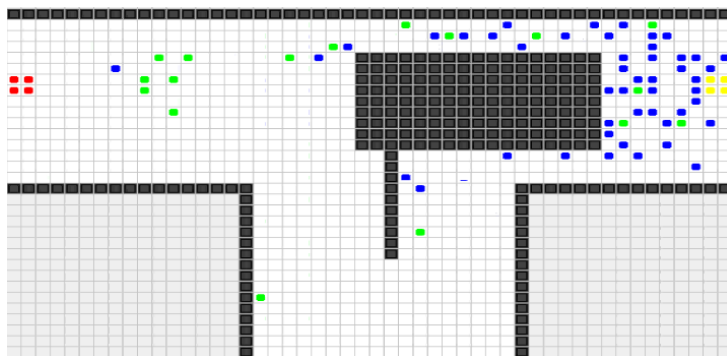


Figura 1.3: Metodologia 1 con completa libertà di movimento

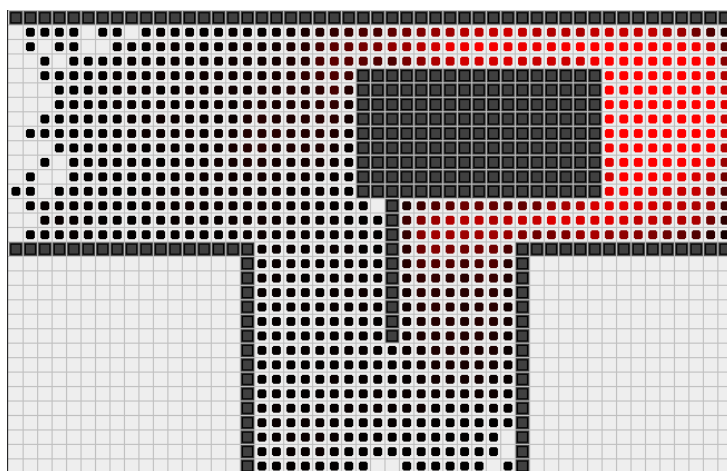


Figura 1.4: Livello feromone metodologia 1 con completa libertà di movimento

All'avvio, con una completa libertà di movimento, poiché il livello di feromone è nullo e, nonostante l'euristica suggerisca il percorso, gli agenti impiegano del tempo prima di raggiungere la zona in cui sono presenti gli oggetti. Quando la presenza di feromone nell'ambiente è nulla e, un agente

recupera un oggetto, mentre ritorna al nido, rilascia del feromone; creando un massimo locale nell'intorno in cui si trova. Gli agenti che si trovano nell'intorno del massimo locale, in maniera probabilistica, tendono a convergere verso il massimo locale. Anziché ottenere il fenomeno emergente dello shortest path, si ottiene un fenomeno di clustering.

Inoltre, è necessario del tempo prima che gli agenti riescano a raggiungere l'area in cui sono presenti gli oggetti. La causa, si può riscontrare nella completa libertà di movimento.

Come visibile nella figura precedente, la presenza di feromone è elevata nell'area in cui sono presenti gli oggetti; mentre tende a essere nulla in prossimità del nido. E' un chiaro segnale di come, gli agenti, con una completa libertà di movimento, facciano fatica a ritornare al nido.

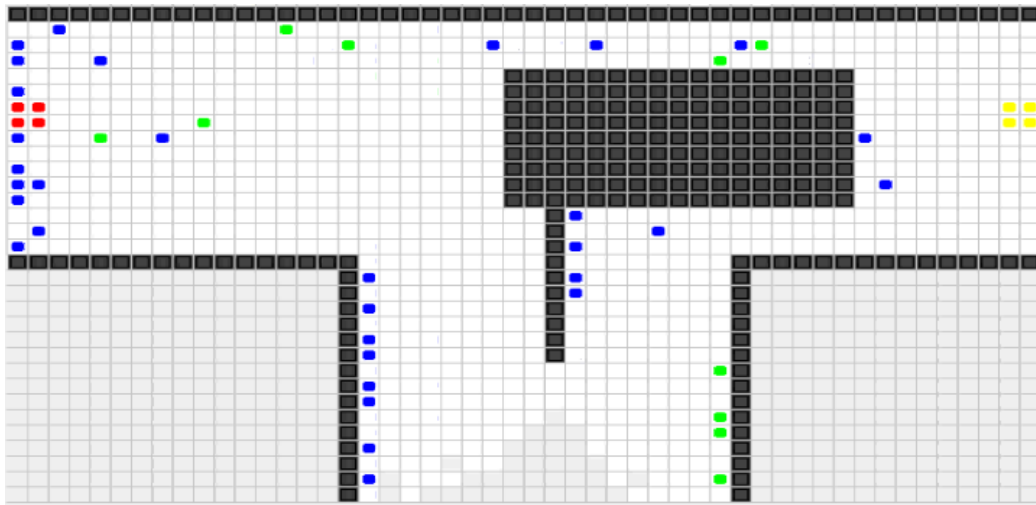


Figura 1.5: Metodologia 1 con movimento limitato

Limitando la libertà di movimento a solo 5 opzioni, si ottiene un lieve miglioramento. Pochi secondi dopo l'avvio del sistema, gli agenti si trovano subito nei pressi dell'ostacolo e scelgono un percorso. Dopo 1 minuto, si presenta la seguente situazione: gli agenti, quando si trovano dinanzi a un ostacolo, possono muoversi in due direzioni (nel caso dell'arena possono muoversi in direzione Nord o Sud) e si bloccano cambiando continuamente

posizione. E' necessario un quantitativo di tempo non irrilevante prima che superino l'ostacolo. Nella figura successiva, si può notare come, in corrispondenza degli ostacoli, la presenza di feromone sia elevata.

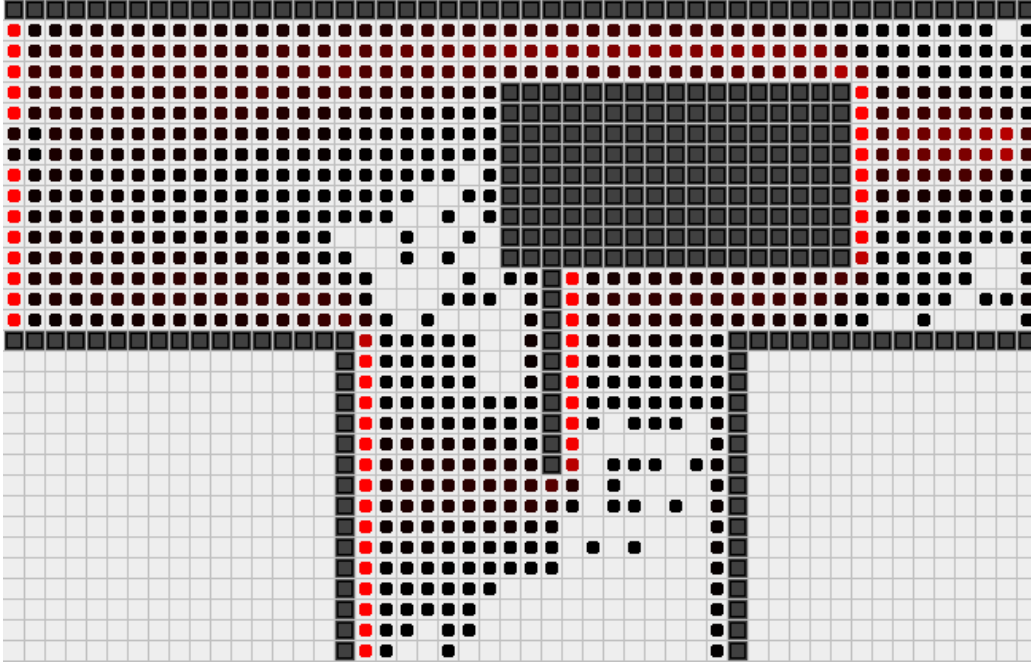


Figura 1.6: Livello feromone metodologia 1 con movimento limitato

Inoltre, gli agenti tendono ad aggregarsi tra loro in corrispondenza degli ostacoli; a causa dell'elevata presenza di feromone.

Con la tipologia di movimento prioritario, è possibile assistere a un miglioramento. Una volta giunti in prossimità dell'ostacolo, gli agenti che sono impossibilitati nel proseguire in una delle tre direzioni antistanti, si dirigono verso Nord/Sud. Una volta giunti ai confini Nord/Sud dell'arena, valutano se proseguire in direzione Ovest o Est. Tramite questa tipologia di movimento, si formano dei gruppi di agenti che esplorano l'ambiente.

Con tale tipologia di movimento, gli agenti sono in grado di aggirare gli ostacoli senza particolari difficoltà.

Come visibile nelle seguenti figure, non emerge il fenomeno dello shortest

path; in quanto, sono diverse le aree con un'elevata presenza di feromone.

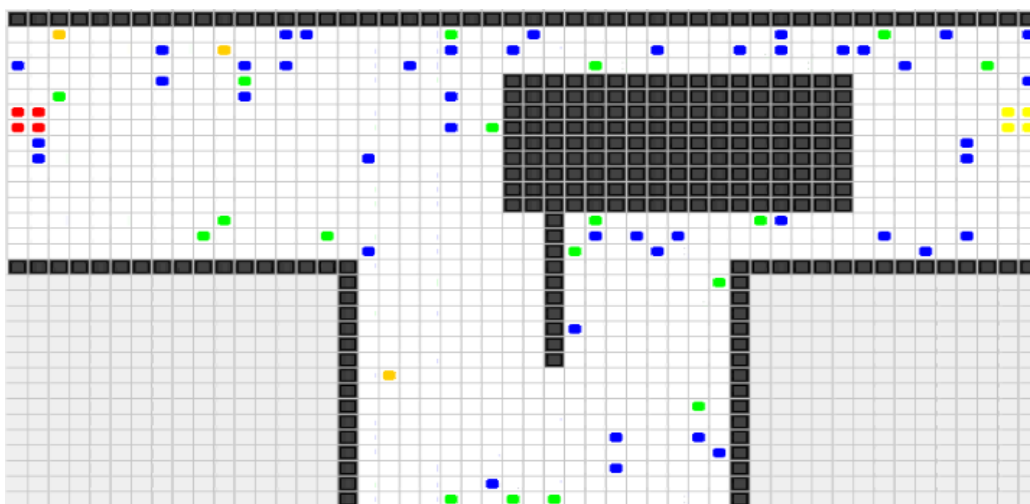


Figura 1.7: Metodologia 1 con movimento prioritario

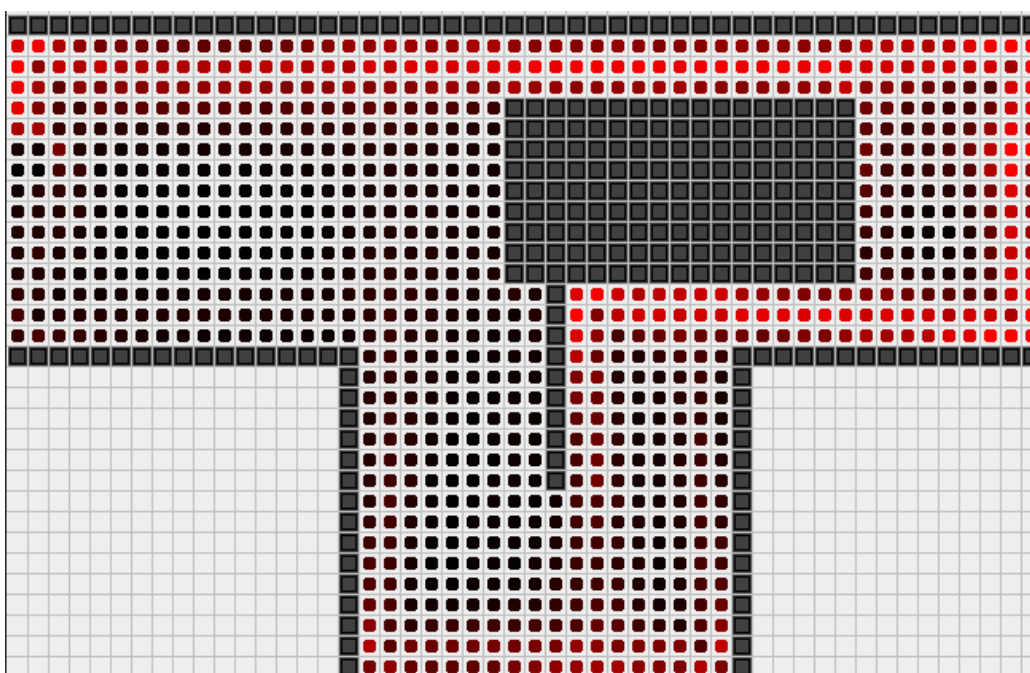


Figura 1.8: Livello feromone metodologia 1 con movimento prioritario

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

	$\bar{X}$	σ
Tipologia 1	0,4	0,8
Tipologia 2	778,2	57,34
Tipologia 3	716,4	53,15

In conclusione, questa metodologia risulta essere inefficace. Con una piena libertà di movimento, è necessario del tempo prima che gli agenti siano in grado di recuperare degli oggetti e, non appena alcuni di essi li recuperano, tendono ad aggregarsi tra loro.

Con la seconda tipologia di movimento, invece, nonostante le difficoltà nell'evitare gli ostacoli, si ottiene il miglior risultato.

La terza tipologia di movimento, invece, permette di ottenere un risultato leggermente peggiore rispetto alla seconda tipologia.

Lo shortest path non emerge con nessuna delle tre tipologie di movimento.

Oltre all'inefficacia di questa metodologia, è necessaria una profonda conoscenza dell'ambiente in cui gli agenti sono situati; in modo da determinare l'attrattività a priori η . Inoltre, per la seconda tipologia di movimento, è necessario conoscere la direzione, rispetto al nido, in cui gli oggetti sono posizionati.

Metodologia 2

La seconda metodologia utilizza un approccio completamente diverso dalla prima. La seguente metodologia prevede l'utilizzo di due feromoni [4]; assumendo che essi possano coesistere nell'ambiente. Rispetto alla precedente metodologia, per determinare la posizione successiva dell'agente, non è necessario determinare l'attrattività a priori della mossa.

Un agente, quando è alla ricerca degli oggetti, rilascia un feromone γ , mentre, quando è di ritorno al nido, rilascia un feromone τ .

La probabilità $p_{\iota\psi}^k$ per un agente k di muoversi dalla posizione ι alla posizione ψ , quando è alla ricerca degli oggetti, è data da: $p_{\iota\psi}^k = \frac{\tau_{\iota\psi}}{\sum_k \tau_{\iota k}}$.

Analogamente, la probabilità $p_{\iota\psi}^k$ per un agente k di muoversi dalla posizione ι alla posizione ψ , quando è alla ricerca del nido, è data da: $p_{\iota\psi}^k = \frac{\gamma_{\iota\psi}}{\sum_k \gamma_{\iota k}}$. In questo modo, si formano due scie di feromone; esse indicano il percorso per tornare al nido e il percorso per recuperare gli oggetti. Una volta calcolata la probabilità per ogni direzione, la posizione successiva viene determinata tramite un'estrazione montecarlo.

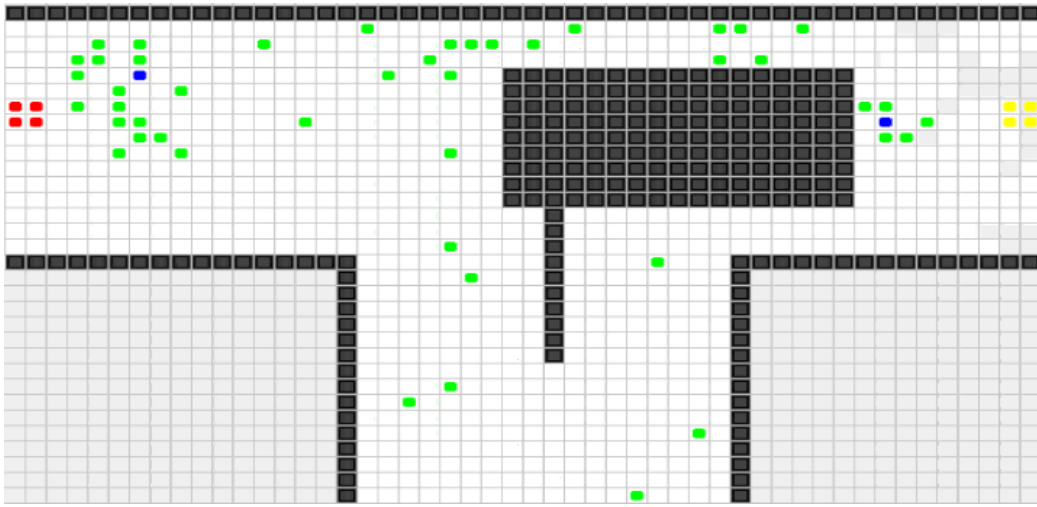


Figura 1.9: Metodologia 2 con completa libertà di movimento

Lasciando una completa libertà di movimento agli agenti, si ha un risultato identico alla metodologia vista nel paragrafo precedente. E' necessario quasi un minuto prima che diversi agenti recuperino gli oggetti. Inoltre, dopo svariati minuti, non si ha una formazione dello shortest path, ma si verifica nuovamente il fenomeno del clustering.

Come si può notare nella figura successiva, gli agenti che effettuano la ricerca degli oggetti, esplorano l'intero ambiente, ma la presenza di feromone in corrispondenza dell'area in cui sono presenti gli oggetti, è nulla. La presenza di feromone rilasciata dagli agenti di ritorno al nido, invece, è nulla in corrispondenza del nido. Si può dedurre che, per gli agenti, risulta estremamente difficile raggiungere le zone di interesse; in quanto, dopo 5 minuti, il feromone evapora completamente nelle rispettive zone.

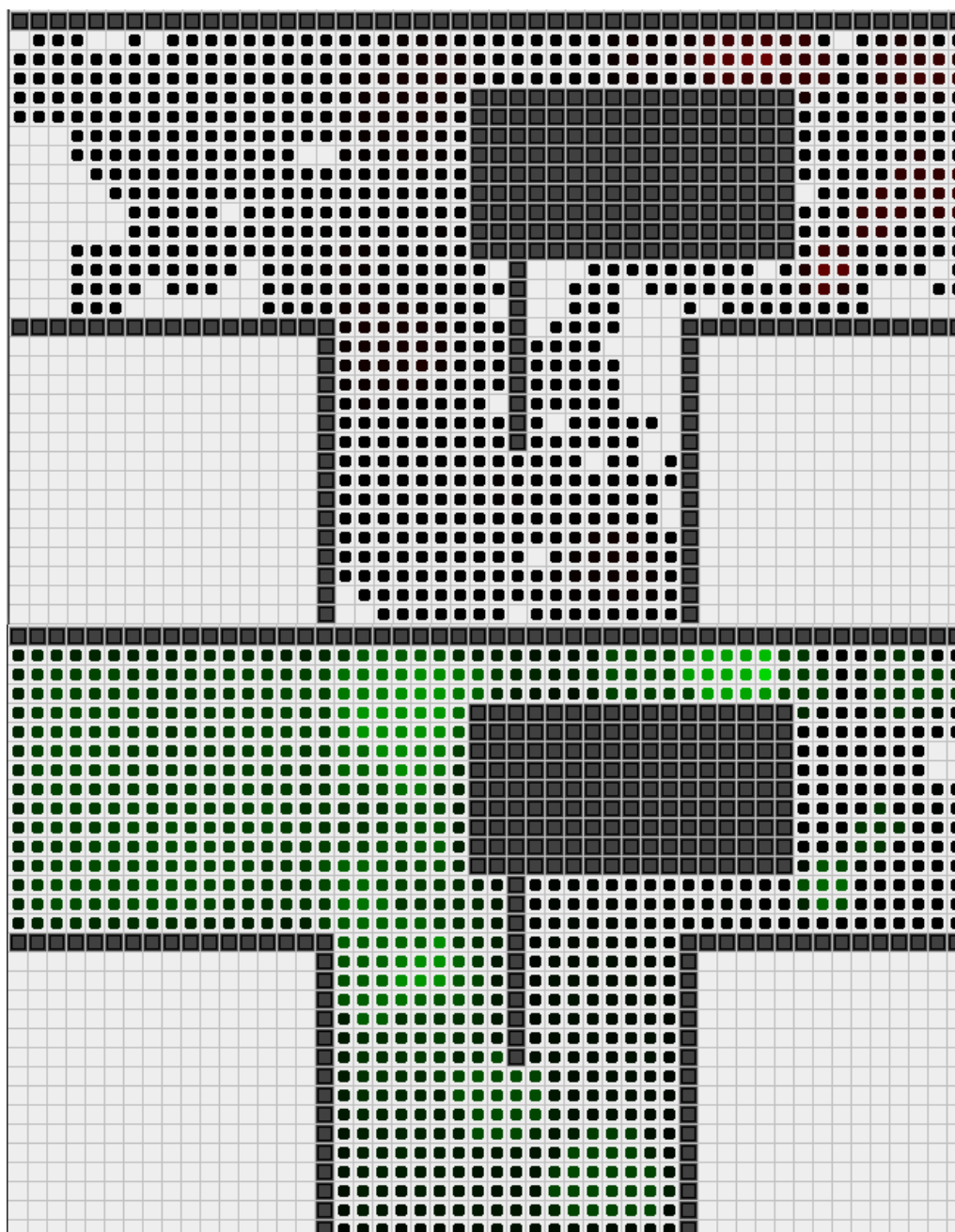


Figura 1.10: Livello feromone metodologia 2 con completa libertà di movimento. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

Con la seconda tipologia di movimento, invece, si ottiene un miglioramento. Dopo 20/30 secondi circa, emerge lo shortest path e, il numero di

agenti che prediligono il percorso più lungo, è limitato. Con il passare del tempo, tale percorso viene completamente abbandonato.

Inizialmente, gli agenti presentano delle difficoltà nell'aggirare gli ostacoli. Quando un agente si trova dinanzi a un ostacolo, la scelta della posizione successiva è ridotta a due alternative. Se in quell'intorno, la presenza di feromone è all'incirca uguale, la probabilità di muoversi in una delle due direzioni sarà del 50% circa. E' quindi necessario un certo quantitativo di tempo prima che l'agente aggiri l'ostacolo. Tale fenomeno si verifica sempre più raramente all'aumentare del feromone in corrispondenza dello shortest path.

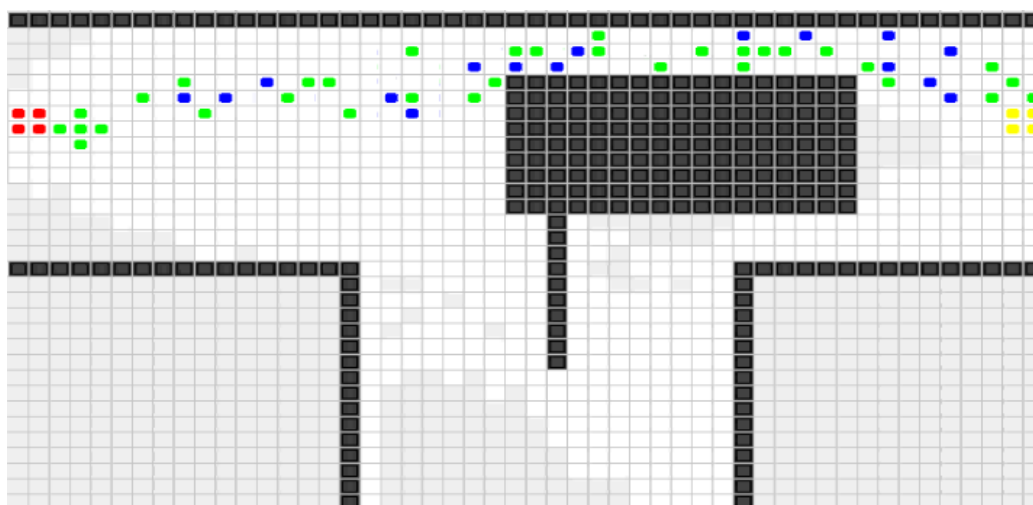


Figura 1.11: Metodologia 2 con movimento limitato

Come visibile nella figura successiva, la presenza di feromone, in corrispondenza dello shortest path, è elevata; nel resto dell'ambiente, invece, vi è una bassa presenza di feromone.

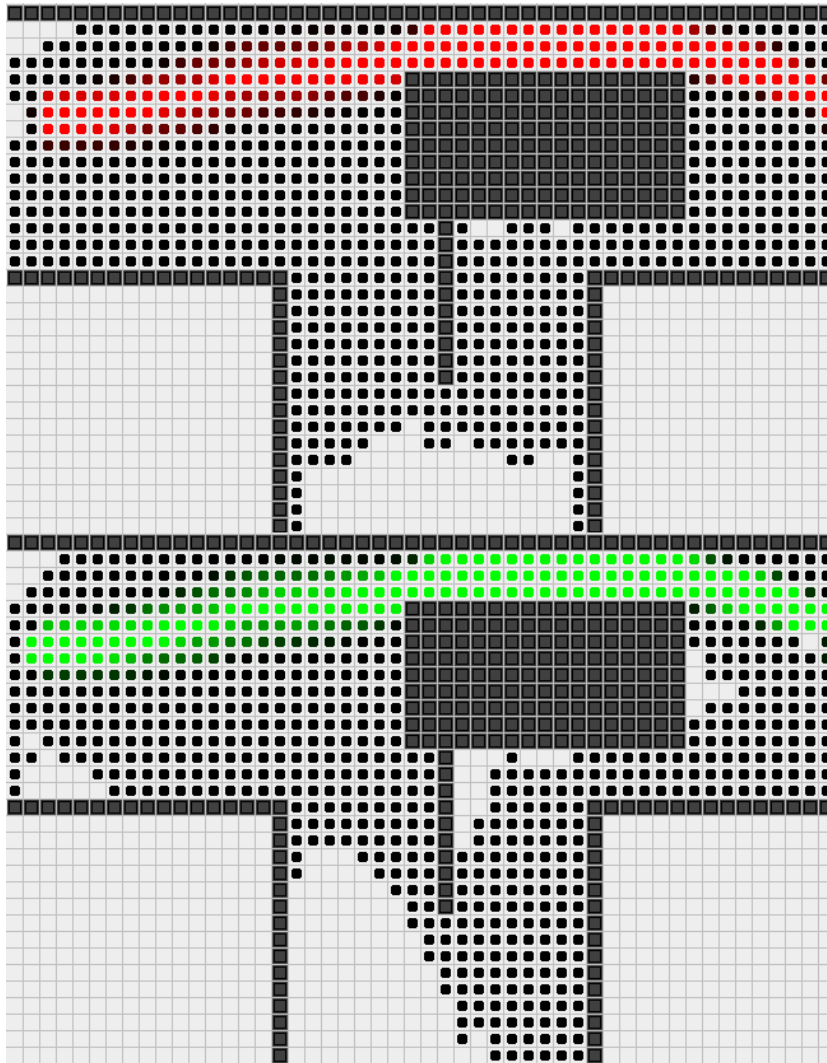


Figura 1.12: Livello feromone metodologia 2 con movimento limitato. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

La terza tipologia di movimento risolve i problemi di aggregazione e, gli agenti, aggirano gli ostacoli senza difficoltà. A differenza della seconda tipologia di movimento, è necessario un maggiore quantitativo di tempo prima che gli agenti abbandonino i percorsi alternativi; in favore dello shortest path. Con il passare del tempo e, mentre il feromone si deposita, si tende a creare un singolo entry point nel nido e nell'area in cui sono presenti gli oggetti.

Gli agenti che si trovano in prossimità dell'area di interesse, ma che non si trovano in corrispondenza dell'entry point, tendono ad evitare l'area; per posizionarsi in corrispondenza dell'entry point. In questo modo, i tempi per il recupero degli oggetti si allungano. Per mitigare questo problema, si può assegnare un livello di feromone massimo in corrispondenza del nido e dell'area in cui sono presenti gli oggetti.

Come per la metodologia precedente, con questa tipologia di movimento, inizialmente, gli agenti formano dei gruppi che esplorano l'ambiente.

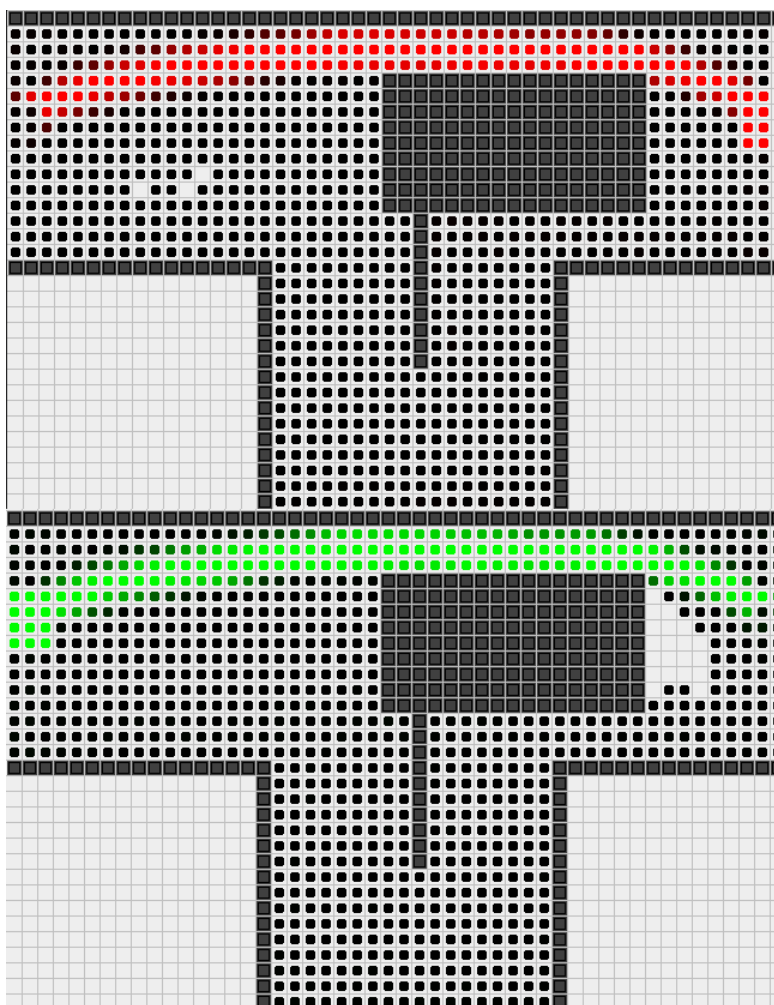


Figura 1.13: Livello feromone metodologia 2 con movimento prioritario. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

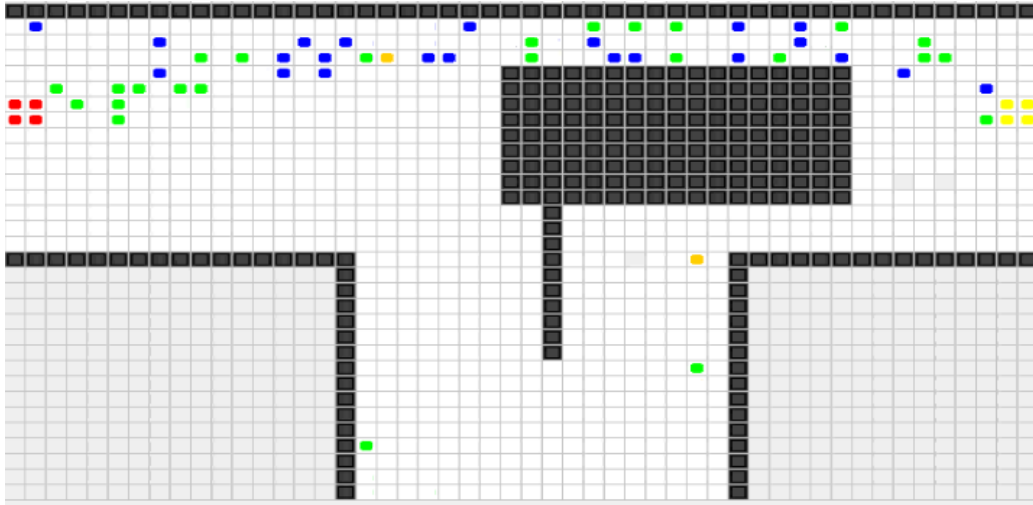


Figura 1.14: Metodologia 2 con movimento prioritario

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

	$\bar{X}$	σ
Tipologia 1	0,4	0,49
Tipologia 2	2249,8	48
Tipologia 3	3252,6	176,78

In questa metodologia, la terza tipologia di movimento permette di ottenere i migliori risultati.

La seconda tipologia di movimento permette di ottenere dei buoni risultati, ma è richiesta una conoscenza minima dell'ambiente: è necessario conoscere la direzione, rispetto al nido, in cui gli oggetti sono posizionati.

La terza tipologia di movimento è preferibile; in quanto:

- Il numero di oggetti riportati al nido è maggiore rispetto alle altre tipologie
- Non si verificano fenomeni di aggregazione
- Gli agenti aggirano gli ostacoli senza difficoltà

Metodologia 3

Tale metodologia si propone come una soluzione ibrida. La probabilità $p_{\iota\psi}^k$ per un agente k di muoversi dalla posizione ι alla posizione ψ , quando è

alla ricerca di oggetti, è data da: $p_{\iota\psi}^k = \frac{\tau_{\iota\psi}^\alpha \eta_{\iota\psi}^\beta}{\sum_k \tau_{\iota k}^\alpha \eta_{\iota k}^\beta}$.

La probabilità $p_{\iota\psi}^k$ per un agente k di muoversi dalla posizione ι alla posizione

ψ , quando è alla ricerca del nido, è data da: $p_{\iota\psi}^k = \frac{\gamma_{\iota\psi}^\alpha \eta_{\iota\psi}^\beta}{\sum_k \gamma_{\iota k}^\alpha \eta_{\iota k}^\beta}$.

L'attrattività a priori η è stata calcolata esattamente come nella prima metodologia. I parametri α e β utilizzano gli stessi valori della prima metodologia. La posizione successiva viene determinata tramite un'estrazione montecarlo.

Con una piena libertà di movimento, continuano a verificarsi i fenomeni di clustering.

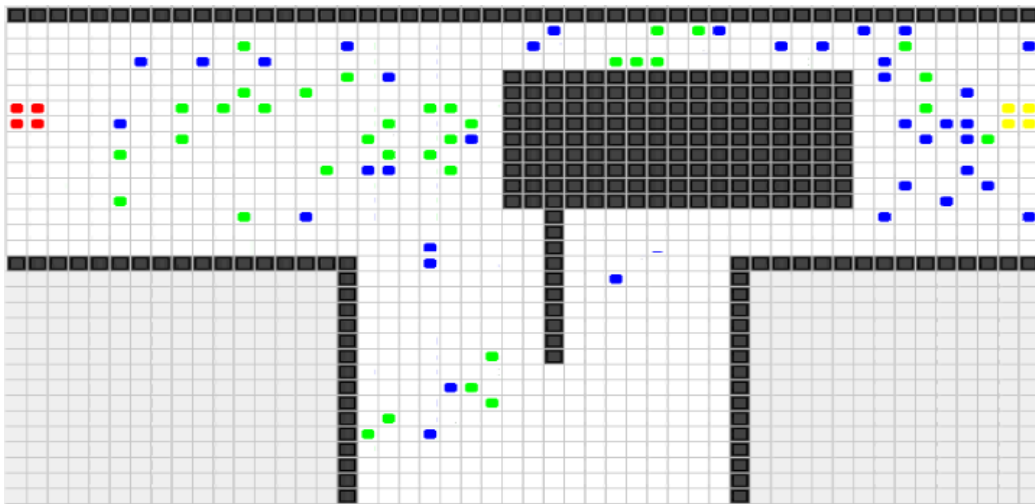


Figura 1.15: Metodologia 3 con piena libertà di movimento

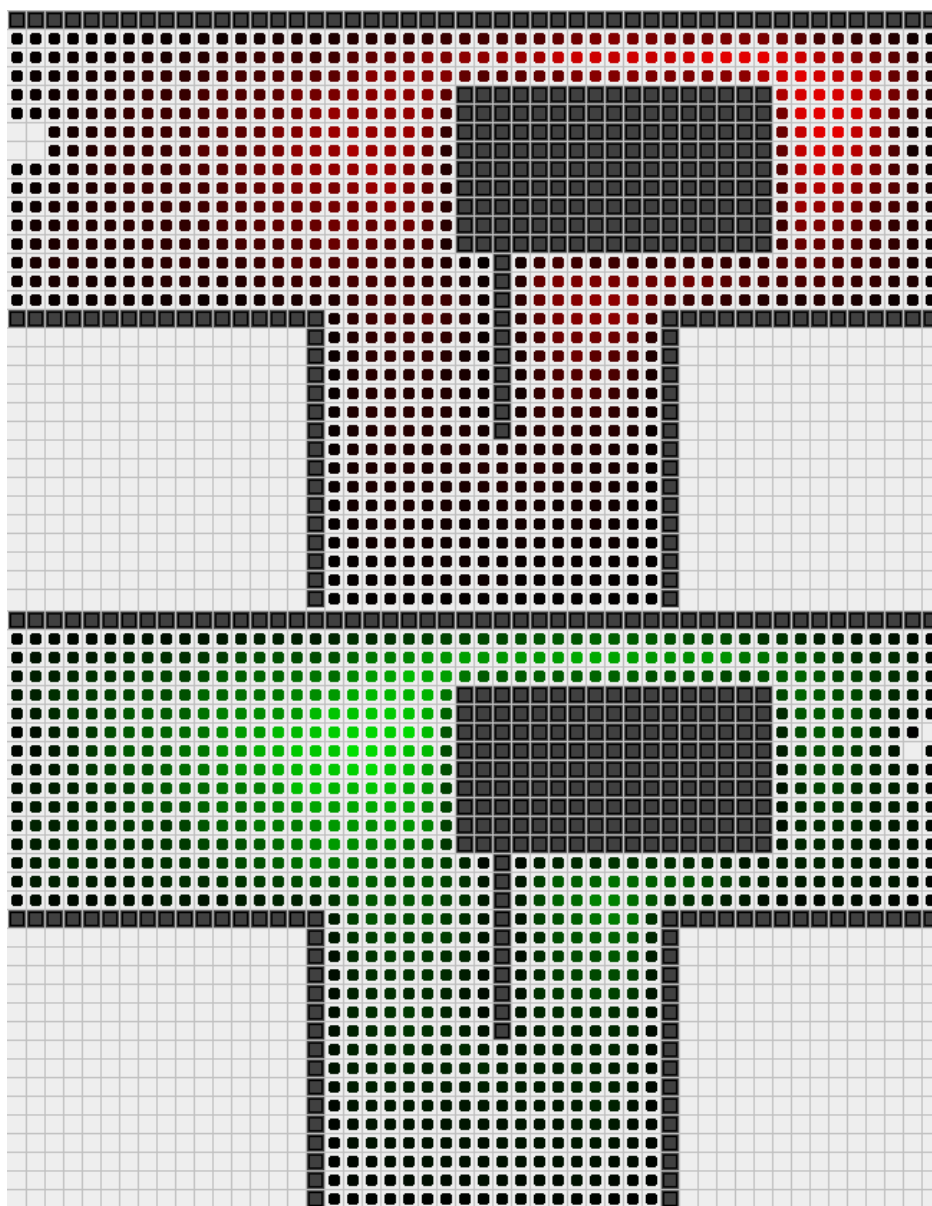


Figura 1.16: Livello feromone metodologia 3 con completa libertà di movimento. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

Con la seconda tipologia di movimento, invece, si ottiene un miglioramento. Come per le metodologie precedenti, dopo pochi secondi, alcuni agenti raggiungono il nido. Dopo un minuto, emerge lo shortest path.

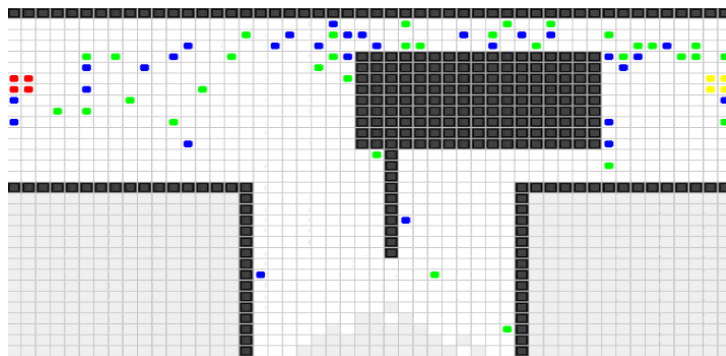


Figura 1.17: Metodologia 3 con movimento limitato

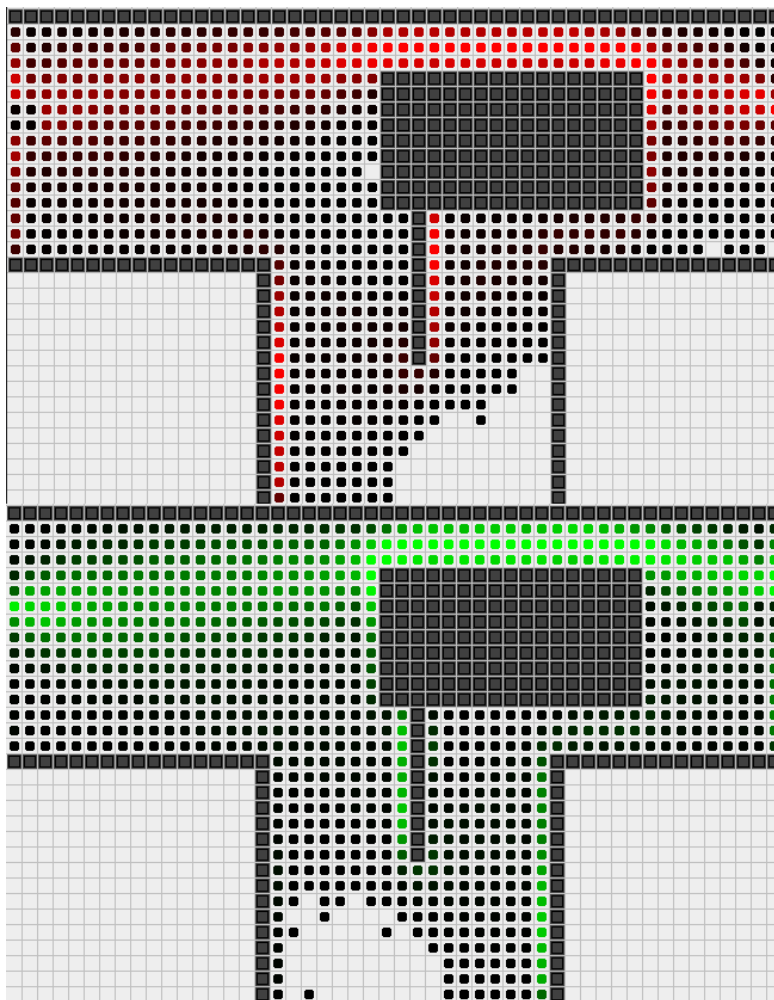


Figura 1.18: Livello feromone metodologia 3 con movimento limitato. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

Gli agenti, per determinare la posizione successiva, non fanno affidamento solo sul feromone, ma utilizzano anche l'euristica. Come visibile nella figura 1.18, in questo modo, alcuni agenti continuano ad esplorare percorsi alternativi. Inoltre, l'elevata presenza di feromone in prossimità degli ostacoli, indica una certa difficoltà, da parte degli agenti, nell'aggirarli.

La terza tipologia di movimento, presenta un peggioramento rispetto alla seconda tipologia. Sebbene gli agenti siano in grado di aggirare gli ostacoli senza alcuna difficoltà, non si verifica il fenomeno emergente dello shortest path. Nella figura 1.20, si può notare come il livello di feromone sia più o meno uniforme su tutto l'ambiente. Il livello di feromone in corrispondenza dello shortest path è leggermente superiore. Tuttavia, gli agenti che intraprendono questo percorso, risultano essere circa la metà.

Come per le metodologie precedenti, con questa tipologia di movimento, inizialmente, gli agenti formano dei gruppi che si occupano di esplorare l'ambiente.

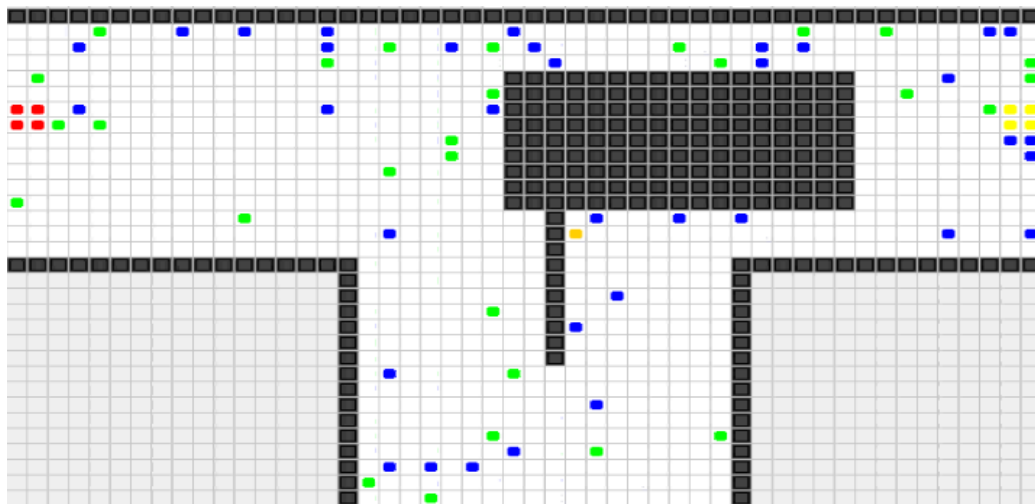


Figura 1.19: Metodologia 3 con movimento prioritario

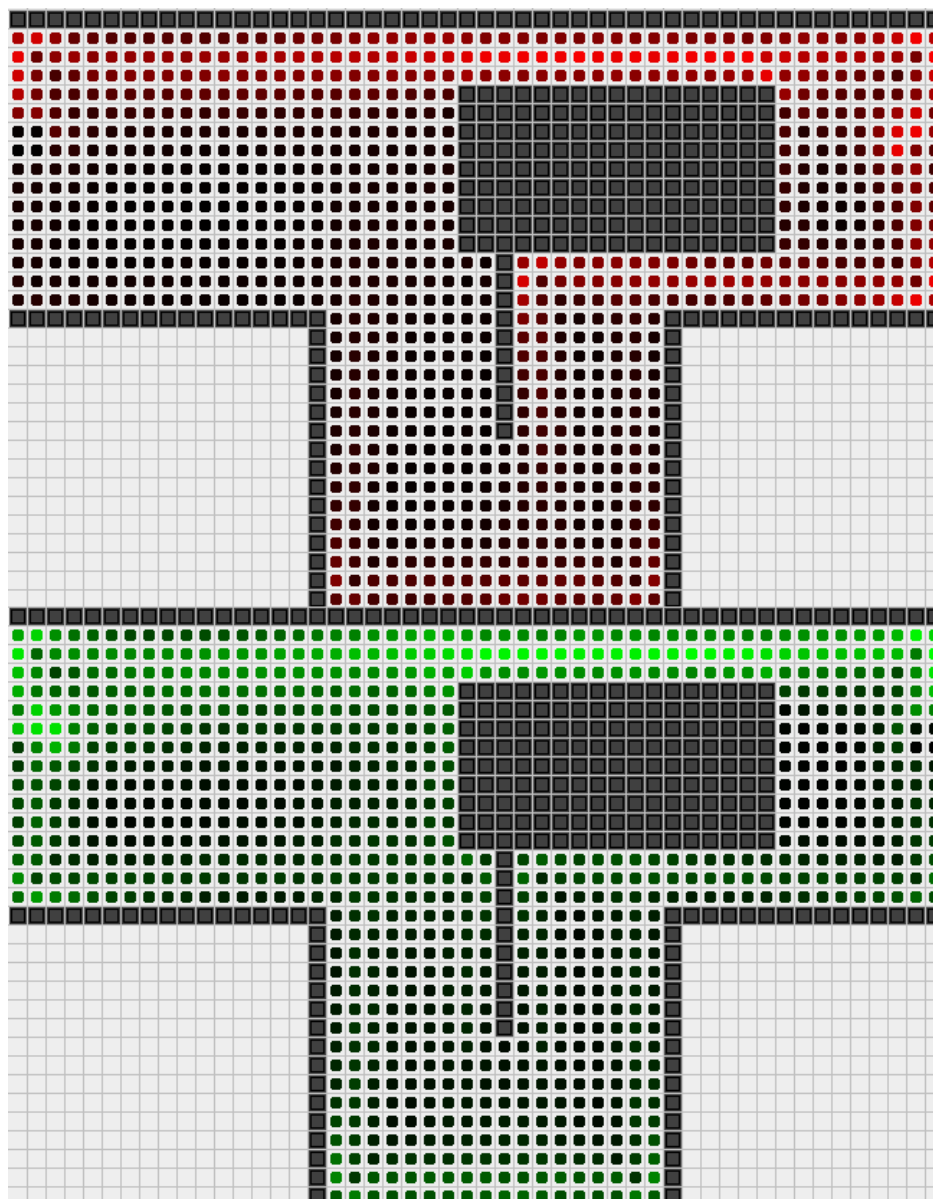


Figura 1.20: Livello feromone metodologia 3 con movimento prioritario. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

Metodologia 1

Con la seconda tipologia di movimento, gli agenti ripresentano la problematica descritta precedentemente. Si aggregano in corrispondenza degli ostacoli ed è necessario del tempo prima che essi siano in grado di superarli. Inoltre, sono pochi gli agenti che, in un lasso di tempo, riescono a superare l'ostacolo e a recuperare gli oggetti.

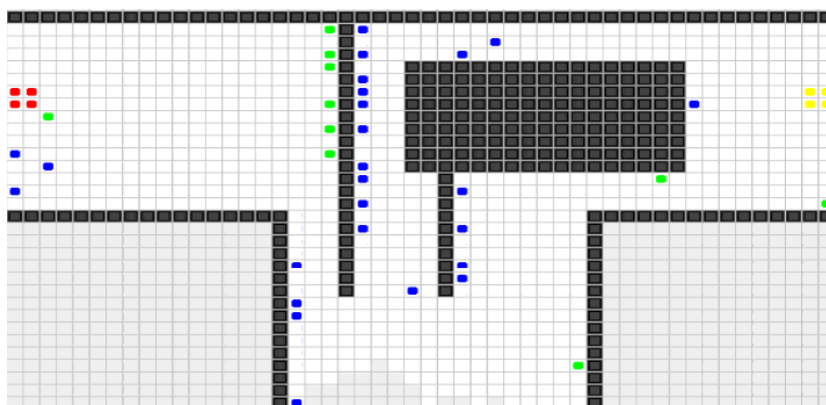


Figura 1.22: Metodologia 1 con movimento limitato

Con la terza tipologia di movimento, al momento dell'inserimento dell'ostacolo, gli agenti sono in grado di trovare subito un percorso alternativo. Poiché, con tale metodologia, non si è ottenuto uno shortest path in una situazione di ambiente statico, tale fenomeno non si verifica neanche in un contesto dinamico.

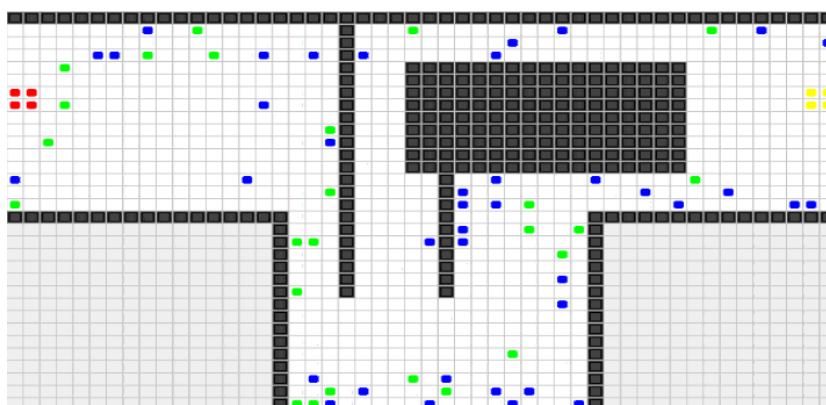


Figura 1.23: Metodologia 1 con movimento prioritario

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

	$\bar{X}$	σ
Tipologia 2	226	90,13
Tipologia 3	514,2	59,75

Poiché la terza tipologia di movimento non presenta difficoltà nell'aggirare gli ostacoli, risulta essere chiaramente la migliore in un ambiente dinamico.

Metodologia 2

Con la seconda tipologia di movimento, al momento dell'inserimento dell'ostacolo, gli agenti si dirigono verso di esso e si aggregano nell'area in cui la presenza di feromone è massima. Prima che gli agenti siano in grado di aggirare l'ostacolo, è necessario attendere l'evaporazione del feromone presente nell'ambiente. Una volta evaporato, gli agenti, lentamente, sono in grado di trovare un percorso alternativo che coincide con il nuovo shortest path. Una volta emerso lo shortest path, gli altri percorsi, con il passare del tempo, vengono completamente abbandonati.

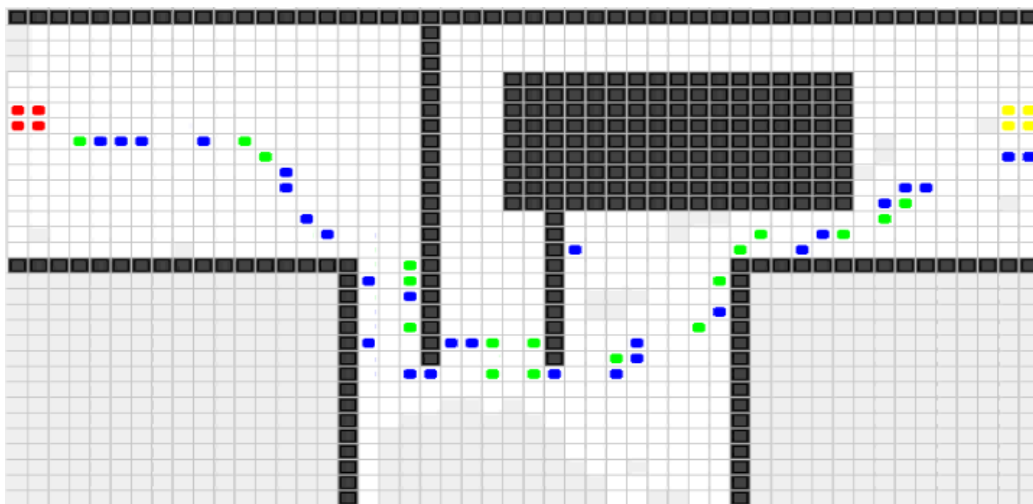


Figura 1.24: Metodologia 2 con movimento limitato

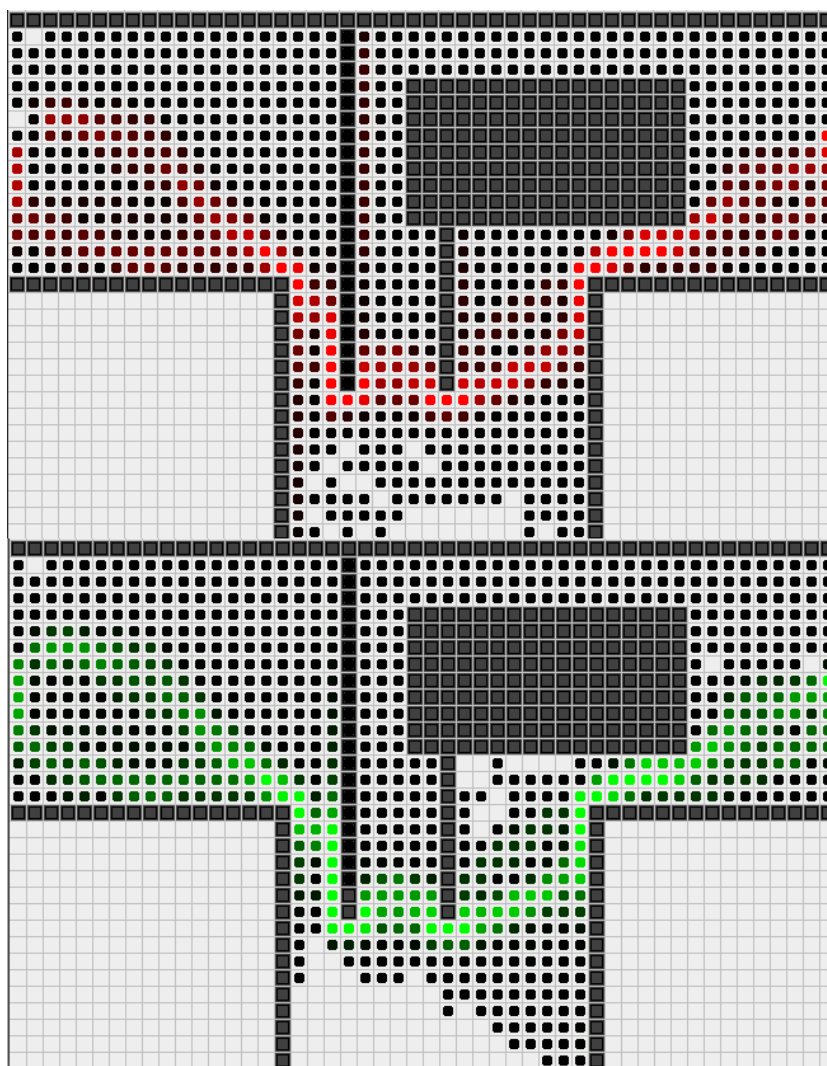


Figura 1.25: Livello feromone metodologia 2 con movimento limitato. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

Con la terza tipologia di movimento, a differenza della precedente, gli agenti sono in grado di trovare subito un percorso alternativo. Nel momento in cui gli agenti individuano un percorso alternativo, il feromone è ancora presente nell'ambiente. Pertanto, gli agenti non sono in grado di individuare uno shortest path alternativo; poiché continuano a percorrere parte dello shortest path individuato prima dell'inserimento dell'ostacolo.

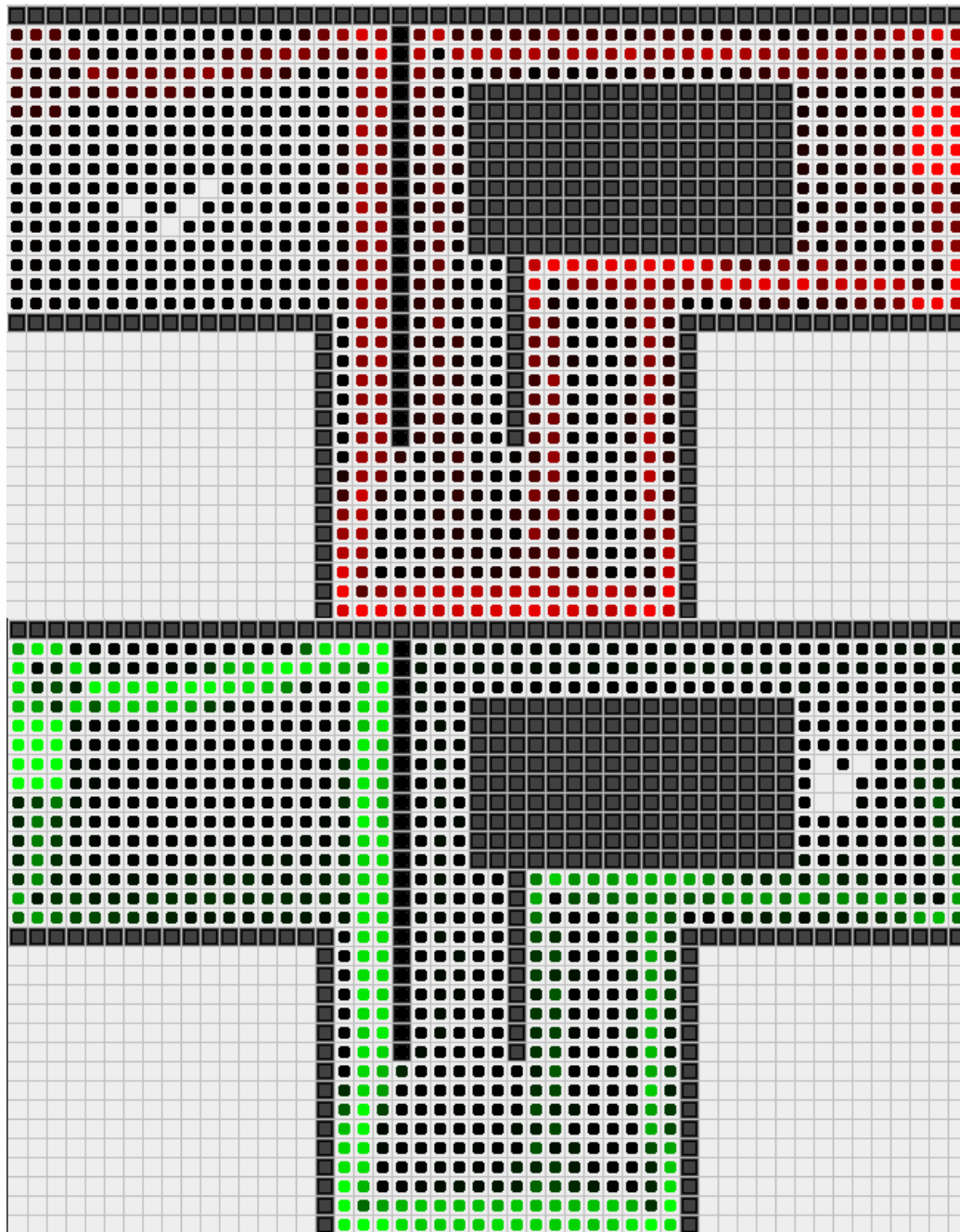


Figura 1.26: Livello feromone metodologia 2 con movimento prioritario. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

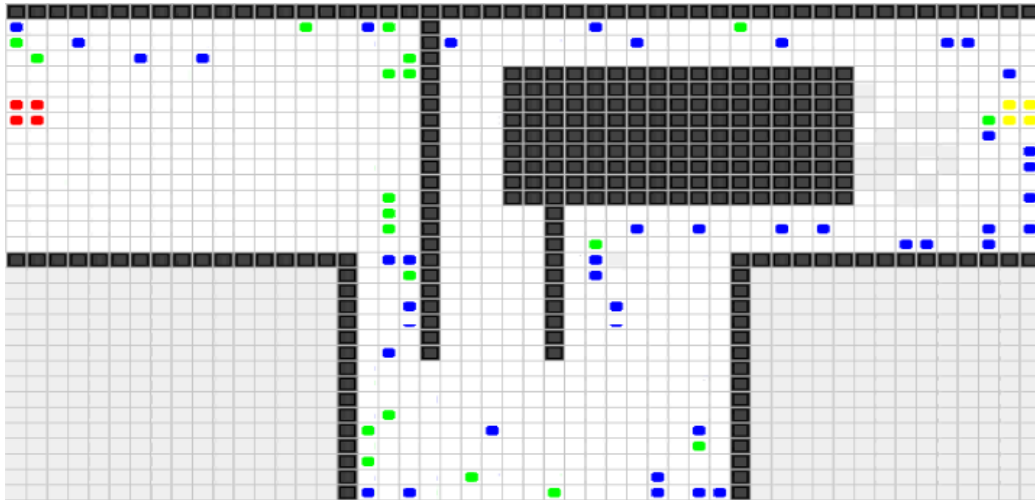


Figura 1.27: Metodologia 2 con movimento prioritario

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

	$\bar{X}$	σ
Tipologia 2	965	215
Tipologia 3	743,6	66,81

Analizzando i risultati, la seconda tipologia risulta essere la migliore; nonostante richieda del tempo prima che gli agenti siano in grado di aggirare l'ostacolo e individuare un percorso alternativo. La differenza di prestazioni, con la terza tipologia, si può riscontrare nel percorso alternativo intrapreso dagli agenti. Poiché nella seconda tipologia emerge uno shortest path, gli agenti impiegano meno tempo per effettuare il percorso nido-oggetti; sono quindi in grado di recuperare un maggiore numero di oggetti.

Metodologia 3

Con la seconda tipologia di movimento, al momento dell'inserimento dell'ostacolo, gli agenti si dirigono verso di esso e si aggregano nell'area in cui la presenza di feromone è massima. Prima che gli agenti siano in grado di ag-

girare l'ostacolo, è necessario attendere l'evaporazione del feromone presente nell'ambiente. Una volta evaporato, gli agenti, lentamente, sono in grado di trovare un percorso alternativo che coincide con il nuovo shortest path. Come visibile nella figura 1.28, l'elevata presenza di feromone in prossimità degli ostacoli, indica una certa difficoltà, da parte degli agenti, nell'aggirarli.

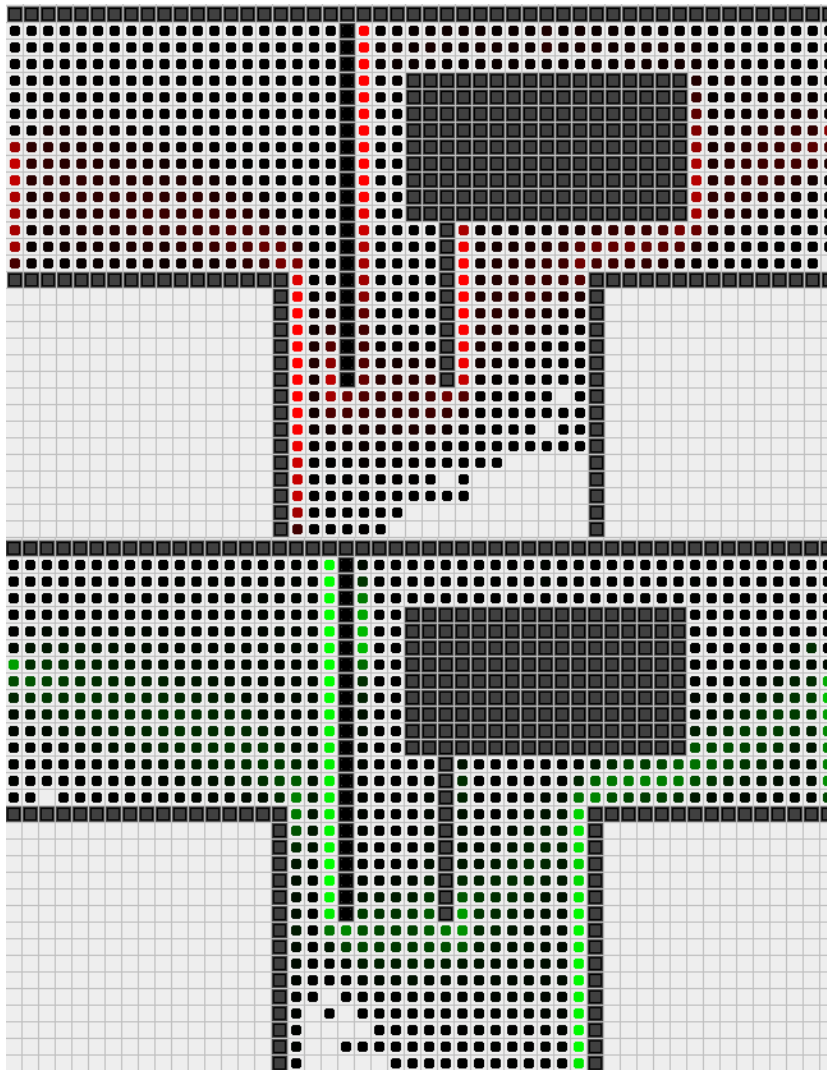


Figura 1.28: Livello feromone metodologia 3 con movimento limitato. In alto: feromone rilasciato dagli agenti di ritorno al nido. In basso: feromone rilasciato dagli agenti alla ricerca di oggetti

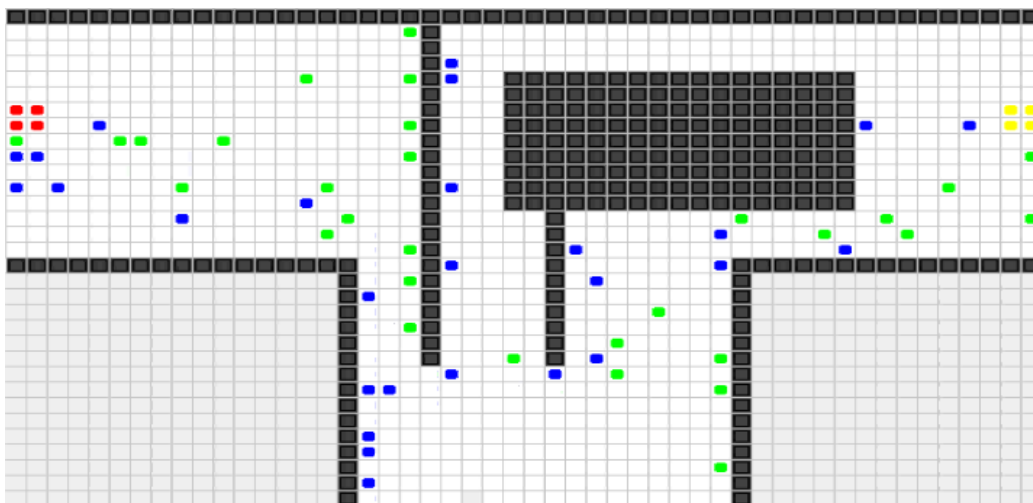


Figura 1.29: Metodologia 3 con movimento limitato

Con la terza tipologia di movimento, a differenza della precedente, gli agenti sono in grado di trovare subito un percorso alternativo. Poiché, con tale tipologia, non si è ottenuto uno shortest path in una situazione di ambiente statico, tale fenomeno non si verifica neanche in un contesto dinamico.

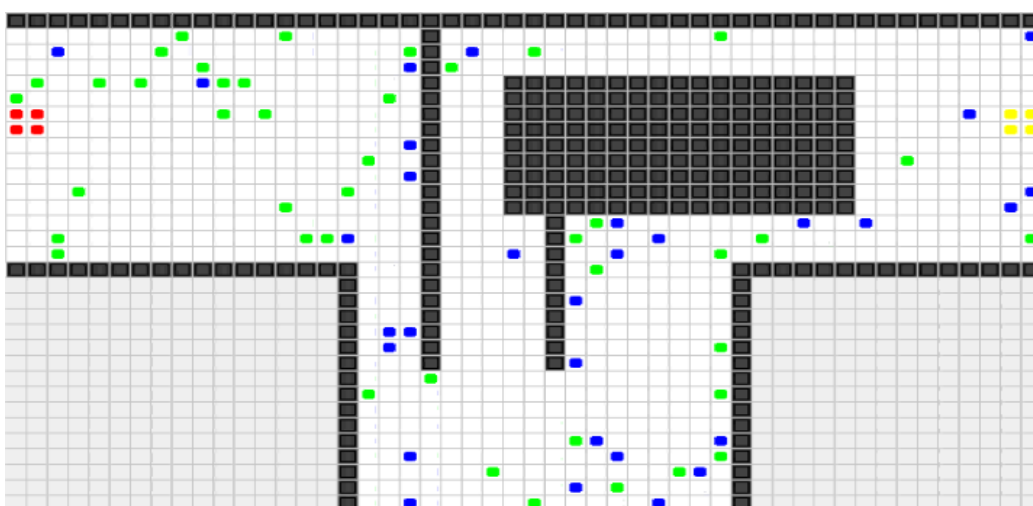


Figura 1.30: Metodologia 3 con movimento prioritario

Di seguito è presente una tabella con il valore medio degli oggetti riportati al nido dagli agenti in base alle varie tipologie adottate.

	$\bar{X}$	σ
Tipologia 2	586,8	134
Tipologia 3	566,66	57,54

Analizzando i risultati, le due tipologie risultano essere simili. Sebbene la seconda tipologia permetta agli agenti di individuare uno shortest path alternativo, presenta, proprio come in una situazione di ambiente statico, delle difficoltà nell'aggirare gli ostacoli.

1.2.3 Conclusioni

Analizzando il comportamento degli agenti, in base alle tipologie di movimento e alle metodologie, è emerso che, la prima tipologia di movimento, risulta essere inadatta; indipendentemente dalla metodologia utilizzata.

La prima metodologia, produce dei risultati discreti solo se applicata con la terza tipologia di movimento. Tuttavia, tale metodologia richiede una profonda conoscenza dell'ambiente; in quanto è necessario sapere dove sono posizionati gli oggetti rispetto al nido e viceversa.

La seconda metodologia, produce ottimi risultati sia con la seconda che con la terza tipologia di movimento. In un ambiente statico, con la seconda tipologia, lo shortest path emerge in tempi brevi; tuttavia, gli agenti presentano delle difficoltà nell'aggirare gli ostacoli. In un ambiente dinamico, tale tipologia, permette agli agenti di individuare uno shortest path alternativo; prima che ciò accada, è necessario attendere la totale evaporazione del feromone presente nell'ambiente. Con la terza tipologia di movimento, in un ambiente statico, lo shortest path emerge in tempi brevi e gli agenti non presentano difficoltà nell'aggirare gli ostacoli. In un ambiente dinamico, con tale tipologia, gli agenti risultano essere più reattivi ai cambiamenti dell'ambiente; per contro, non sono in grado di individuare uno shortest path alternativo.

La terza metodologia, con entrambe le tipologie di movimento e, sia in ambiente statico che dinamico, produce dei risultati peggiori rispetto alla secon-

da metodologia. Come per la prima metodologia, è necessaria una profonda conoscenza dell'ambiente.

In conclusione, la migliore metodologia, per riprodurre il fenomeno dell'ant-foraging, risulta essere la seconda; abbinata con la terza tipologia di movimento. Tale tipologia, risulta essere reattiva in un ambiente dinamico e non necessita di alcuna informazione relativa all'ambiente. La seconda tipologia di movimento, invece, richiede la conoscenza della direzione in cui sono posizionati gli oggetti rispetto al nido e, in caso di ambiente dinamico, anche se gli agenti sono in grado di trovare uno shortest path alternativo, è necessario attendere la totale evaporazione del feromone presente nell'ambiente. Inoltre, con tale tipologia, gli agenti non sono in grado di aggirare ostacoli che impediscono il movimento nelle 5 possibili direzioni prefissate.

1.3 Trasporto cooperativo

Il trasporto cooperativo realizzato, è il risultato di un fenomeno emergente. Ogni agente determina indipendentemente la posizione successiva. Così facendo, ognuno di essi applica una forza sull'oggetto. In base alle somme delle forze applicate, prevale una direzione piuttosto che un'altra.

Poiché questa forma di trasporto non prevede un'effettiva forma di coordinazione tra gli agenti, si possono verificare dei casi di deadlock. Ciò si verifica quando la somma delle forze risulta essere nulla.

Un agente è in grado di trasportare 5 volte il suo peso. Se il peso dell'oggetto, è 5 volte superiore a quello dell'agente, quest'ultimo, mediante l'ambiente, applica un meccanismo di reclutamento. L'agente rilascia un feromone nella posizione in cui si trova; in modo da aumentare la probabilità degli altri agenti di dirigersi nella posizione in cui è richiesto aiuto. Inoltre, rilascia un altro tipo di feromone sull'oggetto; in modo da aumentare la probabilità di ricevere aiuto da parte degli altri agenti. Gli agenti, una volta giunti nell'area in cui sono presenti gli oggetti, selezionano l'oggetto da trasportare nel seguente modo: $P_i = \frac{\gamma_i}{\sum_k \gamma_k}$.

Se gli agenti che giungono in aiuto, non sono in grado di trasportare l'oggetto, anch'essi rilasciano del feromone.

Quando gli agenti sono in grado di trasportare l'oggetto, interrompono il reclutamento.

1.4 Corpse clustering

Il clustering degli oggetti si basa sull'attrazione di un agente di depositare un oggetto in una zona. La probabilità che un agente prenda un oggetto, è calcolata come: $(\frac{k1}{k1 + f})^2$. La probabilità che un agente lasci l'oggetto, invece, è calcolata come: $(\frac{f}{k2 + f})^2$. Dove $k1$ e $k2$ sono costanti; f è il numero di oggetti percepiti dall'agente nella zona in cui si trova.

Quando un oggetto viene riportato al nido, quest'ultimo viene posizionato in un punto casuale all'interno del nido.

Quando un agente decide di occuparsi del corpse clustering, viene posizionato in un punto casuale all'interno del nido ed effettua 100 spostamenti random. Se entro 100 spostamenti, trova un oggetto da riposizionare, lo prende e lo rilascia in una nuova posizione; in base ai criteri spiegati precedentemente. Una volta depositato l'oggetto, se gli spostamenti effettuati sono minori di 100, prosegue con la ricerca di altri oggetti da spostare; altrimenti valuta quale task eseguire.

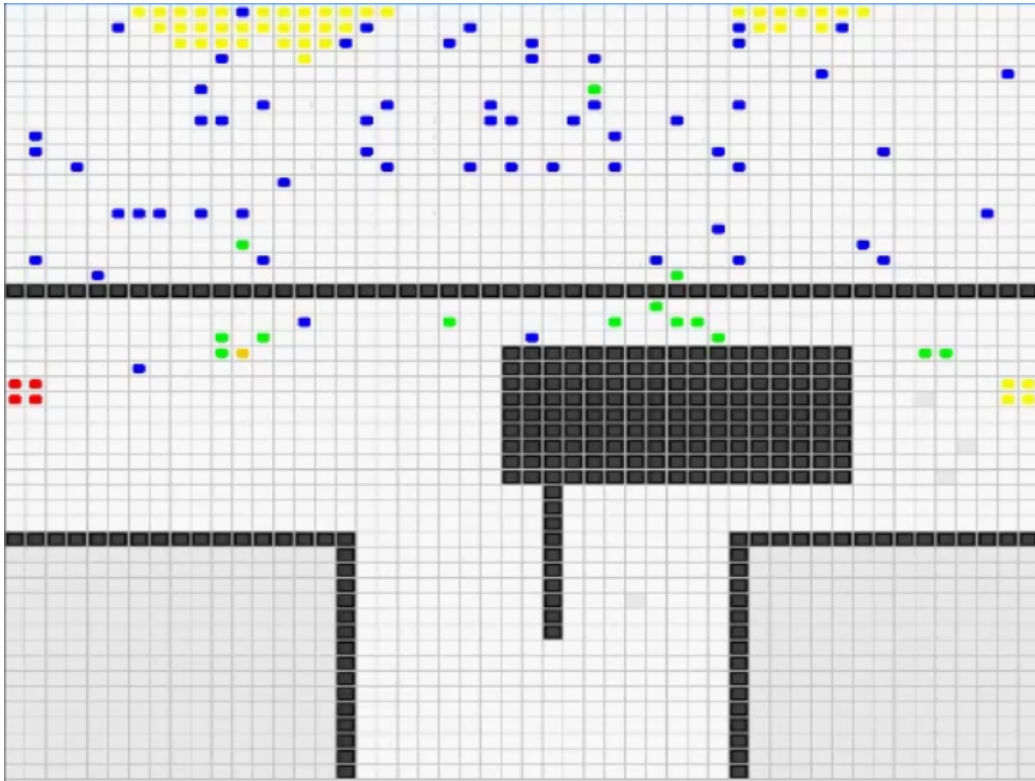


Figura 1.31: Clustering

Come visibile nella figura 1.18, una volta che si formano dei cluster di dimensioni notevoli, si verifica un problema: gli agenti continuano a muoversi senza mai rilasciare l'oggetto; in quanto la probabilità di rilascio è troppo bassa. Ciò è dovuto alla politica di spostamento che risulta essere poco adatta. Gli agenti si spostano in modo casuale e proseguono con tale operazione fino a quando non depositano l'oggetto; anche se sono stati effettuati più di 100 spostamenti. Inoltre, il numero di agenti che trasportano un oggetto, è superiore al numero di oggetti depositati.

Per risolvere tale problema, nel caso in cui gli agenti stiano trasportando degli oggetti, è sufficiente limitare il numero massimo di spostamenti consentiti. Come visibile nella figura successiva, con tale modifica, il risultato cambia. Si formano un maggiore numero di cluster, di varie dimensioni. Inoltre, si può notare come il numero di agenti che trasportano un oggetto sia inferiore rispetto al caso precedente.

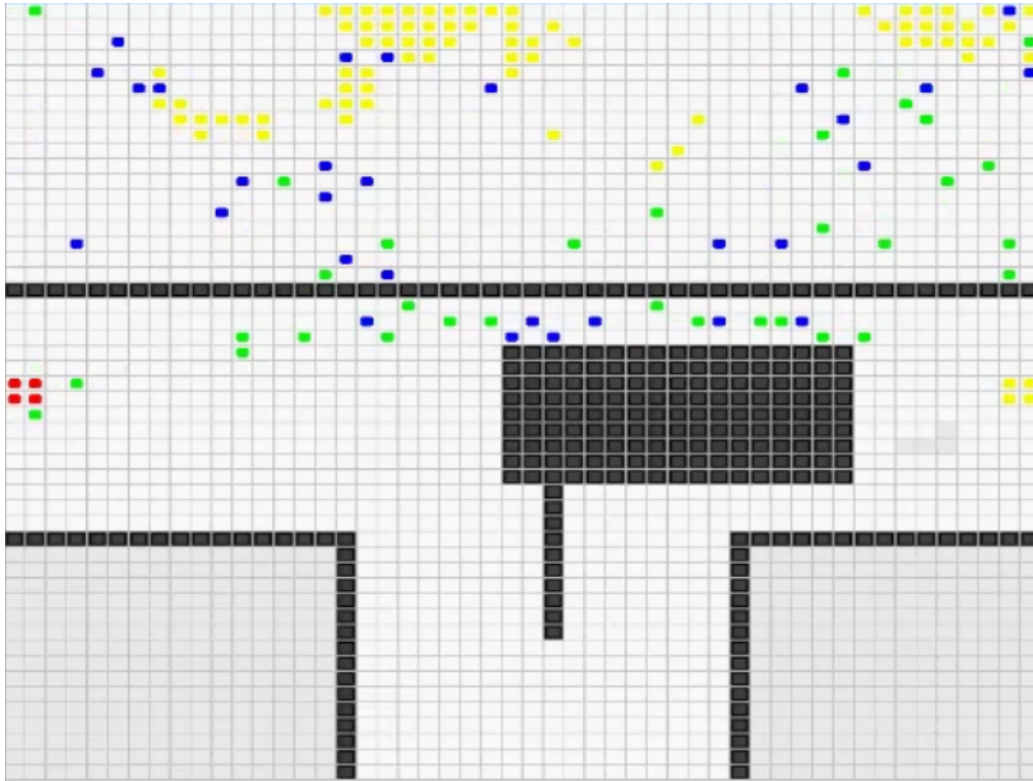


Figura 1.32: Clustering con numero di spostamenti limitati

Gli agenti che trasportano un oggetto, una volta giunti al numero massimo di spostamenti consentiti, depositano l'oggetto nella posizione in cui si trovano; indipendentemente dal numero di oggetti presenti nell'intorno.

1.5 Suddivisione dei task

Quando un agente termina un task e torna nel nido, determina quale sarà il suo prossimo task da perseguire. Tale valutazione avviene tramite calcolo probabilistico. L'agente inizialmente valuta se effettuare un recupero degli oggetti. Nel caso in cui, non dovesse occuparsi di tale operazione, valuterà se effettuare corpse clustering; anche tale valutazione avviene tramite calcolo probabilistico. Di seguito, è presente il criterio con cui si calcola la probabi-

lità, di un agente, di eseguire un task.

```
if(task_completed){  
    success <- success+1  
    fail <- 0  
    P <- min(Max,P+success*delta)  
}else{  
    success <- 0  
    fail <- fail+1  
    P <- max(Min,P-fail*delta)  
}
```

In questo modo, un agente che è meno propenso a trasportare oggetti nel nido, avrà una minore probabilità di andare alla ricerca degli oggetti. Non è detto che tale agente sia invece più propenso a effettuare corpse clustering; si possono verificare dei casi in cui, degli agenti, non siano adatti nè per il recupero degli oggetti, nè per il corpse clustering.

Capitolo 2

Comportamento

Il comportamento di un singolo agente è semplice e le sue azioni sono:

- Rilasciare del feromone
- Spostarsi nell'ambiente
- Prendere/Rilasciare degli oggetti
- Muoversi all'interno del nido
- Valutare se muoversi all'interno del nido (corpse clustering) o all'esterno (foraging)

Per quanto queste azioni siano semplici e, non venga definita alcuna regola a livello locale, grazie alle percezioni locali degli agenti e, alla continua interazione con l'ambiente, è comunque possibile ottenere i fenomeni emergenti oggetto di questa discussione.

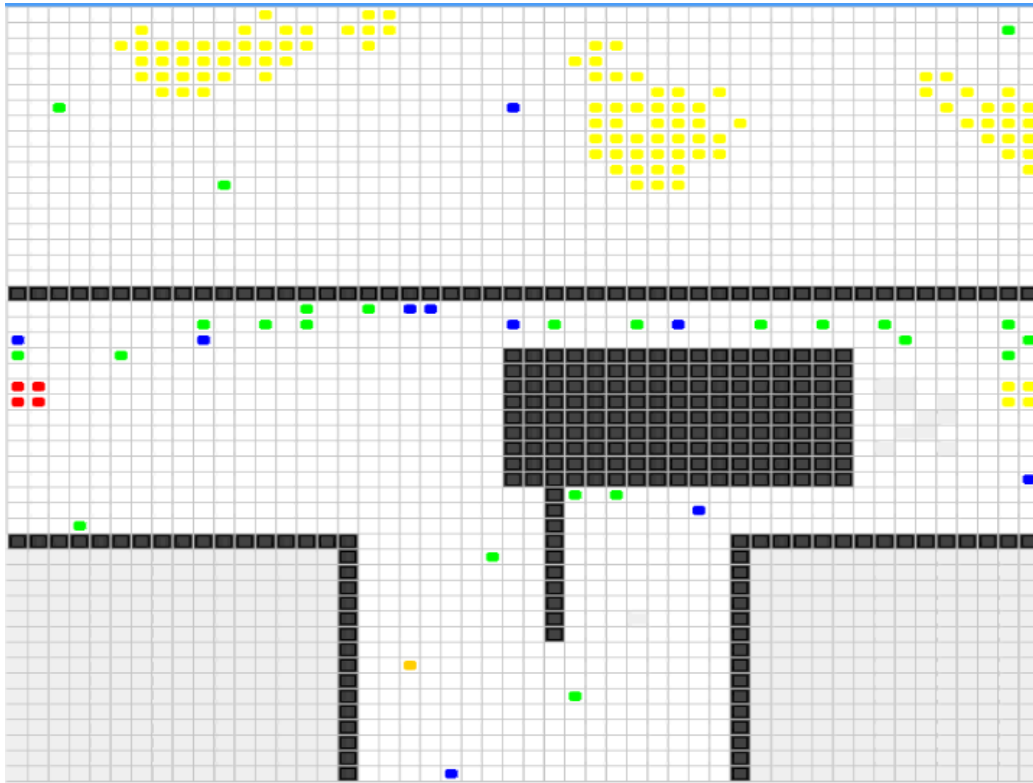


Figura 2.1: Stato del sistema

Il comportamento globale del sistema dipende dai seguenti parametri:

- Tempo evaporazione feromone
- Numero delle risorse
- Esaurimento/Ricarica delle risorse
- Percentuale evaporazione feromone
- Probabilità minima/massima di eseguire un task
- Costanti per valutare se spostare un oggetto

Tramite questi parametri è possibile ottenere comportamenti diversi.
Ad esempio, con un basso tempo di evaporazione del feromone(es: mezzo

secondo), e con un'elevata percentuale di evaporazione (circa il 90%), il fenomeno dello shortest path non emerge in nessuna metodologia.

Mantenendo un tempo di ricarica delle risorse basso, invece, gli agenti saranno più propensi ad effettuare il recupero degli oggetti; piuttosto che ad occuparsi del corpse clustering. Si ottiene l'effetto contrario nel caso in cui il tempo di ricarica sia elevato. Un agente determina se perseguire un task sulla base dei propri successi/fallimenti per quel particolare task. E' interessante notare come, il numero di agenti che effettuano il foraging, sia proporzionale al numero di risorse disponibili nell'ambiente; nonostante il modello per la suddivisione dei task sia basato sulle percezioni locali del singolo agente.

La rapidità con cui si formano i cluster, dipende anche dal numero di agenti che prendono parte a questa operazione. Naturalmente, un elevato numero di agenti rende più rapida questa operazione, ma un numero troppo elevato potrebbe sortire l'effetto contrario.

La dimensione dei cluster dipende dalle costanti utilizzate per determinare se prelevare/depositare un oggetto.

Capitolo 3

Conclusioni

Il sistema realizzato risulta essere un classico esempio di swarm intelligence. Con un sistema completamente decentralizzato e auto-organizzante, è possibile ottenere dei comportamenti collettivi.

I modelli realizzati per la suddivisione dei task e per il corpse clustering, per quanto siano semplici, permettono di ottenere degli ottimi risultati.

Analizzando le varie metodologie per l'ant-foraging, è emerso che, con una completa libertà di movimento, nessuna metodologia risulta essere adatta. Limitando la libertà nel determinare la posizione successiva da parte degli agenti, invece, la seconda metodologia risulta essere la più adatta. La peculiarità di questa metodologia, se utilizzata con la terza tipologia di movimento, è che non richiede alcuna conoscenza dell'ambiente. Risulta quindi essere la più adatta qualora si voglia realizzare il comportamento dell'ant-foraging in un ambito di swarm robotics. Per la realizzazione di questa soluzione, in un contesto reale, i robot potrebbero rilasciare un gas nell'ambiente, che non sia nocivo per gli esseri viventi, e rilevarne la presenza tramite sensori. Naturalmente, si assume che i gas possano coesistere.

La realizzazione dell'ant-foraging ha permesso di comprendere quanto sia fondamentale, in un sistema complesso, trovare il giusto compromesso tra robustezza e adattatività.

Bibliografia

- [1] A. Roli - *Course's slides*
- [2] A. Omicini - *Course's slides*
- [3] V. Maniezzo - *Course's slides*
- [4] Liviu A. Panait, Sean Luke - *Ant Foraging Revisited*
- [5] Tomer J. Czaczkes, Francis L.W. Ratnieks - *Cooperative transport in ants (Hymenoptera: Formicidae) and elsewhere*