



Corso di Intelligenza Artificiale

Progetto finale su Ms Pacman

Gruppo:

Fernando Manna

Andrea Maione

Introduzione	1
Agente basato su regole.	2
<i>Ricerca.....</i>	2
<i>Euristiche.</i>	3
Raggiungibilità in sicurezza.	3
Fuga garantita.	3
Rischio necessario.	4
Tenersi lontano dalla tana.	5
Trovare una via di fuga.....	5
Giunzione bandita.....	6
<i>Parametri.....</i>	6
Giunzioni di fuga.	6
Distanza minima.	6
Distanza di fuga.	7
<i>Stati.....</i>	7
Invulnerabilità.	7
Caccia.....	7
Chiusura.	8
Allineamento.	8
Fantasmi nella tana.	8
<i>Regole.....</i>	8
Ricerca Pill lontano dalla tana.	9
Nearest Pill.	9
Ricerca sicura dei fantasmi.	9
Ricerca dei fantasmi.	9
Ricerca Pill aggressiva.	10
Ricerca Pill.....	10
Ricerca Pill sicura.	10
Ricerca Power Pill.	10
Avvicinarsi alle Pill.	10
Attirare i fantasmi.....	11

Allineare i fantasmi.	11
Fuga verso le giunzioni.....	11
Fuga.....	11
Tests.	11
Agente basato su utilità.	15
<i>Iterative Deepening e Quiescence Search.</i>	15
<i>Utilità.</i>	16
<i>Euristiche.</i>	17
<i>Ms Pacman.</i>	18
<i>Fantasmi.</i>	19
<i>Algoritmo di Ricerca.</i>	20
Tests.	20
Confronto degli agenti realizzati.	26

Introduzione

Ms Pacman è un videogioco arcade pubblicato nel 1981 in cui il personaggio principale, Ms Pacman appunto, ha l'obiettivo di mangiare tutte le Pill e le power Pill presenti all'interno del campo da gioco senza collidere con i 4 fantasmi presenti, che rappresentano il principale ostacolo per il personaggio principale. La variante utilizzata si diversifica dall'originale Ms Pacman per l'introduzione di nuovi labirinti e alcuni cambiamenti nel gameplay. In particolare, la differenza più importante è relativa alla presenza di diverse tipologie di fantasmi e alla logica secondo cui essi si muovono:

- Aggressive Ghost Team, tutti i fantasmi scelgono la mossa che li porta nel nodo adiacente che minimizza la Shortest Path Distance da Ms Pacman;
- Legacy Ghost Team, un fantasma sceglie la mossa che lo porta in un nodo adiacente in modo randomico mentre ognuno degli altri tre fantasmi scelgono tale mossa in modo da minimizzare o la Shortest Path Distance o la Manhattan Distance o la Euclidean Distance da Ms Pacman;
- Legacy 2 Ghost Team, tutti i fantasmi si comportano come i fantasmi di tipo Aggressive eccetto nel caso in cui sono troppo vicini poiché, in seguito a tale evento, si sparpagliano;
- Starter Ghost Team, tutti i fantasmi si comportano come i fantasmi di tipo Aggressive con probabilità 0.9 o come i fantasmi di tipo Random con probabilità 0.1 per ogni frame;
- Random Ghost Team, tutti i fantasmi scelgono la mossa che li porta in un nodo adiacente in modo randomico.

In tale scenario, a differenza dell'originale, si nota l'aggiunta di randomness nella logica di movimento dei fantasmi.

Il software Java fornisce una ricca interfaccia per l'acquisizione delle informazioni principali dello stato del gioco ad ogni frame, in modo da dare la possibilità di sviluppare un controllore ad hoc per il personaggio principale.

Nell'analisi sottostante vengono presentate due tipologie di controllore sviluppate, una basata su regole, l'altra basata su alberi. L'analisi verte sui dettagli di entrambe le tipologie di controllore e sui risultati ottenuti e infine viene effettuato un confronto in modo tale da evidenziare le differenze.

Agente basato su regole.

In tale sezione viene presentato il primo controllore sviluppato che corrisponde ad un agente reattivo semplice basato su regole, tramite il quale, per ogni frame, viene scelta la mossa di Ms Pacman sulla base di condizioni opportunamente scelte in base allo stato corrente dei fantasmi e del campo da gioco.

Ricerca.

Il progetto della competizione mette già a disposizione la ricerca degli Shortest Path con tre diverse metriche di distanza: Path, Manhattan ed Euclidea.

Per quanto riguarda i Path alternativi, vi sono tre motivi per cui essi non si rendono necessari:

1. Il costo assegnato ad ogni percorso è dato dalla sola distanza che ognuno di essi deve coprire, motivo per cui possiamo escludere l'algoritmo di ricerca A^* , in quanto restituirebbe esattamente gli Shortest Path già noti.
2. Per quanto appena detto, una naturale conseguenza è che i Path alternativi hanno sempre un costo maggiore rispetto agli Shortest Path. Nel nostro caso, qualora uno di questi venga scartato da una delle euristiche adoperate, vedremo che lo stesso accade per tutti i percorsi alternativi, rendendone vana la ricerca anche con altri algoritmi.
3. La varietà dei percorsi viene garantita dalle diverse regole, le quali hanno tutte strategie differenti. L'agente non forzerà inutilmente dei percorsi eventualmente rischiosi per raggiungere un singolo punto, ma si limiterà a cambiare quest'ultimo quando necessario o, eventualmente, a cambiare strategia, affidando la ricerca ad una regola differente.

Sebbene quanto detto nel secondo punto non è sempre vero, in questo caso avremo modo di vedere come tale condizione sia sempre verificata per le euristiche proposte.

Diversamente, per quanto riguarda il terzo caso, qualora l'agente dovesse cambiare strategia e prendere un percorso differente (per via di un altro obiettivo), nulla esclude che negli istanti successivi, una strategia prioritaria possa nuovamente restituire un percorso valido, risultando di fatto nell'aver intrapreso un percorso alternativo. Nel caso in cui ciò non dovesse accadere, sarebbe la conferma di quanto rischiosa possa essere

la scelta di seguire forzatamente un percorso alternativo, opportunamente scartato da una delle euristiche in uso.

Le singole regole, dunque, si limiteranno a trovare gli obiettivi più vicini, al fine di massimizzare la velocità di completamento; oppure quelli più lontani, quando sarà necessario allontanarsi dai fantasmi.

Euristiche.

Al fine di scartare percorsi potenzialmente pericolosi, ogni regola adotta una combinazione di euristiche, tuttavia, come già sottolineato in precedenza, esse non assegnano alcun costo ai percorsi.

Raggiungibilità in sicurezza.

La prima è un'euristica molto semplice, dove si valuta la possibilità di raggiungere incolumi un punto desiderato. La verifica è immediata, poiché per definizione, se lo Shortest Path di Ms PacMan è più breve di quello degli altri fantasmi, nessuno può raggiungere l'obiettivo prima di essa, né incrociare essa durante il tragitto (altrimenti vorrebbe dire che almeno un fantasma percorre uno Shortest Path più breve). Qualora la condizione non fosse verificata, è bene che l'agente cerchi di raggiungere un altro punto, poiché non vi è la certezza che Ms PacMan possa raggiungere incolume l'obiettivo. In particolare, ciò vale anche per tutti i percorsi alternativi, inevitabilmente più lunghi.

Tale euristica non garantisce nulla riguardo ciò che possa accadere o meno dopo aver raggiunto il punto desiderato, e al tempo stesso sovrastima la minaccia dei fantasmi, poiché non sappiamo effettivamente quale percorso intendono seguire. In ogni caso, possiamo ritenere i due compromessi accettabili, poiché la soluzione non è particolarmente stringente.

Fuga garantita.

Poiché è necessario garantire la sopravvivenza anche dopo che sia stato raggiunto un obiettivo, è necessario elaborare un meccanismo che valuti anche la possibilità di fuggire incolumi.

Anche in questo caso il concetto è molto semplice, si assume che Ms PacMan possa raggiungere un punto desiderato, e da qui poi valutare il numero di giunzioni che può

raggiungere in sicurezza. Per fare ciò consideriamo la distanza che Ms PacMan deve coprire, come la distanza percorsa per raggiungere il punto desiderato sommato alla distanza della giunzione che si vuole raggiungere da quel punto, mentre per i fantasmi la distanza dalla giunzione è esattamente quella da coprire dal loro punto attuale. Qualora sia possibile raggiungere un numero sufficiente di giunzioni, indipendentemente dal percorso, la fuga è considerata sicura, altrimenti il percorso viene scartato.

Inevitabilmente, l'esclusione del percorso a costo minimo, implica quella dei percorsi alternativi.

Anche in questo caso la minaccia dei fantasmi è sovrastimata, poiché inevitabilmente non possono avvicinarsi contemporaneamente a tutte le giunzioni, tuttavia, è una soluzione ragionevole per evitare di simulare tutti i possibili scenari.

Rischio necessario.

Le euristiche viste sinora, sono tutte risultate particolarmente stringenti, a causa della sovrastima effettuata sulla minaccia dei fantasmi. Al fine di garantire un maggior numero di soluzioni, e di affrontare percorsi particolarmente impegnativi, è bene trovare un meccanismo che permetta di avere una stima inferiore del pericolo associato ai fantasmi, anche a costo di avere qualche errore.

Diversamente dai casi precedenti, l'ipotesi qui è più articolata, e tiene conto della possibilità che i fantasmi cerchino di seguire o meno Ms PacMan lungo un percorso.

Fissato un punto da raggiungere, per prima cosa si valuta la distanza di Ms PacMan da quest'ultimo, dopodiché possono verificarsi due condizioni:

1. I fantasmi che si trovano ad una distanza inferiore da Ms PacMan, rispetto a quella appena valutata, si assume che la seguiranno lungo il suo percorso, e dunque la fuga all'indietro non sarà possibile.
2. I restanti fantasmi non seguiranno Ms PacMan, ma potrebbero compiere un accerchiamento.

Nell'ipotesi in cui la fuga all'indietro non sia possibile, Ms PacMan dovrà prima raggiungere la più vicina giunzione, tenendo conto della distanza complessiva per raggiungerla, dopodiché sarà necessario valutare il numero di giunzioni raggiungibili, esattamente come nell'euristica precedente.

Il rischio in questo caso è una sottostima della minaccia dei fantasmi, in quanto non necessariamente tutti fantasmi più vicini seguiranno Ms PacMan nel suo percorso, con il

rischio che si trovi circondata. Per quanto concerne i fantasmi più lontani, resta inevitabilmente sovrastimato il pericolo arrecato, per gli stessi motivi del caso precedentemente discusso.

Tenersi lontano dalla tana.

Durante lo sviluppo del gioco è bene tenersi lontano dalla tana qualora vi siano dentro dei fantasmi.

Un'ipotesi ragionevole è che il punto da raggiungere sia più vicino a Ms PacMan rispetto a quanto sia vicino alla tana, in questo modo anche se un fantasma dovesse uscir fuori, così come nella prima euristica, non vi è alcuna possibilità di incrociarlo o che arrivi prima. Diversamente dalla prima euristica però, la sovrastima del pericolo in questo caso è una cosa positiva, in quanto l'uscita di più fantasmi in sequenza dalla tana, è una situazione particolarmente critica da gestire, poiché rende facili gli accerchiamenti. Di conseguenza, è accettabile tenersi abbastanza distanti in queste situazioni.

Trovare una via di fuga.

Nelle situazioni più disperate e imprevedibili, potrebbe accadere che l'agente non sia in grado di trovare alcun percorso, portando inevitabilmente alla disfatta di Ms PacMan. Ciononostante, è possibile aprirsi una via di fuga raggiungendo o sostando in punti specifici.

Nel caso in cui i fantasmi stiano seguendo un pattern randomico, c'è sempre la possibilità che si apra un varco per via di una loro mossa poco astuta. Tuttavia, nel caso in cui i fantasmi siano intenti a seguire un pattern più deterministico, il caso può fare molto meno, ma è comunque possibile aprire una via di fuga, spingendo i fantasmi a seguire un percorso comune.

L'idea è quella di trovare un punto da raggiungere, che spinga i fantasmi a passare per l'attuale posizione di Ms PacMan, e una volta aperta una via di fuga riprendere con le altre strategie (la prima di esse che sia in grado di trovare un percorso).

In questo caso, stiamo effettuando un azzardo, tuttavia l'agente non ha nulla da perdere, per cui vale la pena tentare. Di conseguenza, l'eventuale sottostima del pericolo dei fantasmi è necessaria, e non costituisce un problema.

Giunzione bandita.

Alcune regole necessitano di una giunzione bandita, per evitare che Ms PacMan si blocchi in un punto. Sebbene la scelta di rimanere fermi in un punto sia corretta, è necessario gestire il fenomeno, poiché troppo spesso l'agente tende ad aspettare per troppo tempo, compromettendo la sua strategia. Dunque, in determinate regole, i percorsi che portano alla giunzione bandita vengono conseguentemente scartati.

Parametri.

La parametrizzazione è quasi assente, soltanto tre parametri, e anche molto semplici da scegliere.

Giunzioni di fuga.

Nelle due euristiche per la fuga in sicurezza ed il rischio necessario, abbiamo prima sottolineato come fosse necessario individuare un numero sufficiente di giunzioni raggiungibili, al fine di ritenere sicuro il percorso. Per non ridurre drasticamente il numero di soluzioni, è necessario limitare a due tale parametro, garantendo inoltre il massimo risultato.

Nel caso della fuga in sicurezza, abbassare tale parametro sotto il minimo, porterebbe l'agente a rischiare senza alcuna reale necessità.

Distanza minima.

In tutte le situazioni in cui è necessario valutare la distanza dai fantasmi, è bene tener presente che a distanza due quest'ultimi possono mangiare Ms PacMan, per cui è necessario mantenere una distanza minima di tre unità per evitare tale fenomeno.

Scegliere la distanza minima comporta anche la minor riduzione possibile del numero di soluzioni (tenere vicini i fantasmi ci permette di raggiungere prima di loro molti più punti).

Distanza di fuga.

Nel solo caso in cui l'agente cerca di attirare i fantasmi in un unico punto, è necessario mantenere una distanza minima superiore, pari a cinque unità.

Per questo parametro, vale il discorso analogo fatto per la giunzione bandita. Di fatto, aspettare che i fantasmi siano troppo vicini, mentre cerchiamo di attirarli, può compromettere la strategia, per cui è bene tenersi più lontano di qualche unità.

Stati.

Non tutte le regole devono essere eseguite quando le altre non sono in grado di trovare un percorso, in particolare alcune di esse intervengono soltanto all'occorrenza di particolari stati del gioco, ed hanno una priorità molto elevata.

È importante capire quali sono gli stati del gioco (in ordine di priorità) in cui è particolarmente utile adoperare delle strategie diverse, e con precedenza sulle altre.

Invulnerabilità.

Non appena Ms PacMan mangia una Power Pill, essa entra in uno stato temporaneo di invulnerabilità, finché non vi è almeno un fantasma non mangiabile. È bene sfruttare a pieno questo stato per completare alcune aree particolarmente impegnative e pericolose. Fortunatamente (forse non è un caso) le zone appena citate sono spesso adiacenti alle locazioni delle Power Pill, per cui è sufficiente che prima di dare la caccia ai fantasmi, Ms PacMan completi velocemente questi punti.

Lo stato di invulnerabilità termina non appena Ms PacMan raggiunge la prima giunzione, e non scatta nel caso in cui siano terminate le Power Pill, evitando di completare il livello senza mangiare prima i fantasmi.

Caccia.

Proprio dopo aver sfruttato lo stato di invulnerabilità, l'agente si dedicherà alla caccia dei fantasmi. Questo stato permane finché vi è almeno un fantasma mangiabile e raggiungibile in tempo (sappiamo quanto tempo rimane prima che torni normale).

Chiusura.

Qualora Ms PacMan sia in grado di raggiungere tutte le Pill rimanenti prima dei fantasmi, senza preoccuparsi del dopo, l'agente può fiondarsi immediatamente su queste e completare il livello.

Riconoscere questo stato è fondamentale per risparmiare tempo contro avversari particolarmente problematici, ricordando che il tempo è un fattore fondamentale in questa competizione.

Allineamento.

Tracciando il percorso dal fantasma più lontano alla posizione di Ms PacMan, può capitare abbastanza spesso che questo percorso contenga la posizione dei restanti fantasmi. Tale fenomeno non è casuale, bensì è dovuto alla scelta dei fantasmi di inseguire Ms PacMan.

In questo stato possiamo ben intravedere l'aprirsi di un gran numero di possibilità, di fatto i fantasmi sono interessati a seguirci, non a circondarci, rendendoci più facile il lavoro.

L'agente potrà dunque preoccuparsi di raggiungere un qualsiasi punto prima dei fantasmi, ma senza temere di essere circondato, permettendoci di completare il livello ancor più velocemente.

Fantasmi nella tana.

In qualsiasi momento ci siano dei fantasmi nella tana, come già detto in precedenza, è bene tenersi lontano da quest'ultima; inoltre, sarebbe opportuno evitare di mangiare le Power Pill per evitare di sprecare punti.

Regole.

Al fine di coprire tutte le possibili situazioni, e di generare tutti i possibili percorsi alternativi, è stato necessario elaborare ben dodici regole differenti, elencate ora in ordine di priorità.

Ricerca Pill lontano dalla tana.

Principalmente ad inizio partita, ma può capitare al più 5 volte per livello, tutti i fantasmi si trovano nella tana. In questo caso avviene la ricerca delle Pill più lontane da essa, Power Pill comprese. L'assenza di fantasmi non rende necessario l'utilizzo di euristiche.

Nearest Pill.

Come da titolo, la regola Nearest Pill ricerca la pillola più vicina, ed entra in azione nello stato di invulnerabilità. L'agente si curerà di completare delle zone particolarmente impegnative finché non avrà raggiunto la prima giunzione.

Non è necessaria alcuna euristica, non vi è alcun rischio di perdere in questo stato.

Ricerca sicura dei fantasmi.

Prima di prendere qualche rischio nella caccia ai fantasmi, è bene prendere prima qualche precauzione. Il motivo principale di tale scelta è che spesso e volentieri i fantasmi che tornano normali creano non pochi problemi, riservando degli attacchi a sorpresa (nonostante la cosa riceva particolare attenzione, definendo accuratamente il tempo di caccia).

Questa regola combina le euristiche per la fuga garantita e per tenersi lontano dalla tana, minimizzando il rischio di game over, inoltre la regola cerca di anticipare i movimenti dei fantasmi, minimizzando il tempo necessario per completare la caccia.

La priorità è il fantasma più vicino.

Ricerca dei fantasmi.

Qualora non fosse possibile cacciare i fantasmi senza prendersi qualche rischio, nel caso in cui i fantasmi non mangiabili siano in stato di allineamento, l'agente procede con una caccia più aggressiva.

Diversamente dal caso precedente, vi è la combinazione delle euristiche per la raggiungibilità in sicurezza e per tenersi lontano dalla tana, per cui non si pone alcuna attenzione a cosa possa succedere una volta raggiunto il fantasma da mangiare.

Ovviamente, anche in questo caso ci si riserva la possibilità di anticipare i movimenti dei fantasmi, e la priorità resta il fantasma più vicino.

Ricerca Pill aggressiva.

Nel caso in cui ci si trovi nello stato di chiusura o di allineamento, la regola prevede una ricerca della Pill raggiungibile in sicurezza più vicina a Ms PacMan.

Ricerca Pill.

In assenza di stati particolari, la ricerca delle Pill tollera un minimo di rischio, adoperando le euristiche per la raggiungibilità in sicurezza e per il rischio necessario. La scelta ricade sulla Pill più vicina.

Diversamente dalla caccia ai fantasmi, la ricerca delle Pill dà priorità alle strategie più aggressive, in quanto il rischio di attacchi a sorpresa è notevolmente ridotto.

Ricerca Pill sicura.

Se le opzioni prioritarie sono troppo rischiose, l'agente sceglie una strategia più conservativa, adoperando l'euristica per la fuga garantita, e scegliendo sempre la Pill più vicina.

Ricerca Power Pill.

In caso di difficoltà l'agente può fiondarsi sulla più vicina Power Pill raggiungibile in sicurezza, a patto che non ci siano fantasmi nella tana.

Avvicinarsi alle Pill.

Nel caso in cui non sia possibile mangiare alcuna Pill (fenomeno particolarmente ricorrente contro i fantasmi che seguono pattern particolarmente randomici), l'agente proverà a raggiungere la giunzione che minimizzi la somma della distanza per raggiungerla e quella per raggiungere la Pill più vicina.

Poiché stiamo cercando di raggiungere una giunzione, è possibile rilassare la condizione di ricerca, adoperando le sole euristiche per la giunzione bandita e la raggiungibilità in sicurezza.

Attirare i fantasmi.

L'allineamento inizia con la ricerca della giunzione che minimizza la distanza media da tutti i fantasmi, che non sia bandita, che rispetti la distanza di fuga e che sia ammessa dell'euristica per la fuga garantita.

Allineare i fantasmi.

Una volta attirati in un punto si procede attirando i fantasmi altrove, costringendoli a seguire Ms PacMan e favorendo l'apertura di una via di fuga. Il risultato è frutto delle euristiche per creare una via di fuga e per la fuga garantita.

Fuga verso le giunzioni.

La prima opzione di fuga prevede la ricerca della giunzione raggiungibile in sicurezza più lontana da Ms PacMan. La ricerca verte verso i punti più lontani, poiché ricercando quelli più vicini ci si potrebbe erroneamente avvicinare ancor di più ai fantasmi (altrimenti ci si sarebbe spostati in un punto vicino con altre regole con priorità maggiore).

Trattandosi di un'opzione di fuga non è possibile usare altre euristiche, poiché si rischierebbe di non avere alcuna soluzione.

Fuga.

La seconda opzione (disperata) prevede di raggiungere il più lontano punto (qualsiasi) che sia raggiungibile in sicurezza. Per quanto riguarda la scelta della distanza, valgono le stesse conclusioni già fatte nel caso precedente.

Tests.

Una volta ottenuti tutti i pezzi dell'agente, è stato possibile realizzare diverse configurazioni in grado di fornire dei buoni risultati, sia in generale, che come controllori specifici.

La prima costruzione prevede l'applicazione di undici delle dodici regole, escludendo la sola regola che obbliga a mangiare le Pill lontane dalla tana quando vi sono dentro tutti i fantasmi.

Tale configurazione è volta alla massimizzazione del punteggio contro i fantasmi Random, in quanto sarà l'unica ad utilizzare la regola per avvicinarsi alle Pill quando non è possibile mangiarle.

La tabella seguente illustra i risultati ottenuti in questo primo caso:

<i>Fantasma</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Aggressive	128487	34897,44001	167410	26660	1.17	39
Random	57876,2	4121,05685	68490	47090	3.51	0
Legacy	49272	19463,24772	91160	8510	0.14	90
Starter	33096,5	14955,05308	71050	8470	0.02	98
Legacy 2	22258,5	11275,41834	55280	1710	0.0	100

I risultati premiano notevolmente la strategia Aggressive, tuttavia anche il risultato contro Legacy non è da trascurare, considerato il tipo di controllore utilizzato. Infatti, nonostante le forti assunzioni sulla possibilità di allineare i fantasmi (non è una certezza contro avversari che non seguono direttamente Ms Pacman), il punteggio medio e quello massimo sono discreti.

Purtroppo, ad esclusione di Random, che non rappresentano una particolare minaccia (zero game over e numero medio di vite significativamente alto), tutti i punteggi minimi sono molto bassi, e con deviazioni standard notevoli, evidenziando alcune difficoltà nella gestione dell'imprevedibilità. Nei casi Aggressive, Legacy e Starter, è certo che la problematica derivi dalla forte assunzione di allineamento (si noti l'elevato numero di game over e il basso numero medio di vite), che non può essere sempre una garanzia di rischio minimo; tuttavia, non sono state individuate altre soluzioni tali da gestire al meglio la problematica e massimizzare contemporaneamente il punteggio.

La mancanza di una soluzione per la gestione dei fantasmi Legacy 2 (soprattutto ad inizio partita), dove Ms PacMan subisce costantemente degli accerchiamenti, ne pregiudica il punteggio inevitabilmente, per cui non daremo particolare peso a tale risultato.

Una seconda configurazione, risolve parzialmente il problema per le strategie Aggressive e Legacy, massimizzando al tempo stesso i punteggi ottenibili contro queste ultime. L'unica modifica apportata consiste nella rimozione della regola per l'avvicinamento alle Pill.

In questa nuova tabella si possono apprezzare i risultati ottenuti:

<i>Fantasm</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Aggressive	132810,5	33558,02963	172260	24850	1.44	30
Legacy	52132,3	20345,44415	85550	9510	0.43	74
Random	48982,6	4559,134484	61740	39980	3.6	1
Starter	42341,9	17433,42816	75600	7730	0.09	95
Legacy 2	27292,3	12257,0152	67290	5130	0.05	96

In questo caso, la strategia Random ne esce chiaramente penalizzata, tuttavia il risultato non è compromesso eccessivamente; mentre, per quanto la riguarda la strategia Legacy 2 nulla cambia rispetto al caso precedente, se non un leggero miglioramento dovuto alla riduzione dei rischi.

Per le prime due strategie, non molto cambia in termini di punteggio minimo e deviazione standard, per cui la crescita del punteggio medio è da imputare direttamente alla riduzione del numero di game over; ottenendo quindi delle strategie più prolifiche nel tempo.

La strategia Random mantiene un numero medio di vite leggermente superiore, e di conseguenza possiamo intuire come la riduzione del rischio abbia influito negativamente sul punteggio medio (adesso impiega più tempo a completare i livelli).

Sebbene non cambi molto in termini di game over e vite medie, la strategia Starter riceve un notevole incremento del punteggio medio, poiché, in precedenza, l'imprevedibilità di tali fantasmi puniva troppo spesso la scelta di restare vicino alle Pill quando non era possibile mangiarle.

In ultimo, il terzo controllore prevede l'inserimento della regola che obbliga a mangiare le Pill lontano dalla tana, finora assente nei casi precedenti, e la rimozione delle regole per mangiare Pill e fantasmi nello stato di allineamento, e l'avvicinamento alle Pill (come avviene già nel secondo caso), riducendo notevolmente i rischi presi dall'agente.

Si osservino i risultati ottenuti nella seguente tabella:

<i>Fantasmi</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Aggressive	110474,1	15068,00897	131640	30130	2.47	8
Legacy	49190,2	18159,23671	82930	10190	0.29	80
Starter	49154,9	16034,85051	77320	12540	0.55	66
Random	49140,3	4068,499835	57690	39320	3.7	0
Legacy 2	39547,8	15009,35352	65960	3910	0.36	76

La media generale è ottima, le deviazioni standard sono migliorate, ed i punteggi massimi sono buoni.

Ad eccezione di Legacy, il numero medio di vite è cresciuto per ogni strategia, per cui la riduzione dei rischi ha dato notevoli benefici. La strategia Aggressive ne esce fortemente penalizzata in termini di punteggio medio, mentre Legacy viene soltanto leggermente ridimensionata. Random resta sugli stessi punteggi del caso precedente, e le strategie Starter e Legacy 2 ottengono i loro massimi.

Sembrerebbe che la riduzione dei rischi comporti uno svantaggio nel caso Legacy, probabilmente perché la minore velocità di completamento espone molto più Ms PacMan una volta terminate le Power Pill. Anche il caso Aggressive soffre particolarmente la riduzione di velocità, tuttavia un compromesso è necessario per favorire un'esecuzione più sicura ed efficiente contro Random e Legacy 2.

In conclusione, l'utilizzo o meno di regole differenti permette di ottenere dei miglioramenti consistenti contro ogni singola strategia, a patto di trovare il giusto compromesso con le altre. Giunti sin qui, non si è stati in grado di individuare altre possibili soluzioni, ma siamo sicuri che i risultati ottenuti sono più che soddisfacenti.

Agente basato su utilità.

In tale sezione viene presentato il secondo controllore sviluppato, che corrisponde ad un agente basato su utilità con struttura ad albero, tramite il quale, per ogni frame, viene scelta la mossa di Ms Pacman in base all'esplorazione dei vari stati del gioco. Gli stati sono posti in un albero di ricerca e vengono esplorati grazie ad algoritmi di ricerca di tipo Minimax.

Vengono principalmente utilizzate le varianti Iterative Deepening e Quiescence Search, in quanto si sono mostrate molto efficaci, e inoltre vengono presentati anche un controllore che adotta Alpha-Beta Pruning, ed uno che adotta ExpectiMinimax, entrambi in una particolare configurazione.

Una ricerca di questo tipo richiede l'ottimizzazione di alcuni parametri e la scelta degli stati da considerare, in modo da non sovraccaricare la computazione e da rientrare nel limite temporale di 40 millisecondi per frame disponibili per decidere la mossa di Ms Pacman. Tutto ciò appena citato viene analizzato di seguito.

Iterative Deepening e Quiescence Search.

Considerato il vincolo temporale che impone di decidere la prossima mossa da effettuare entro un intervallo di 40ms, non si può pensare di condurre una ricerca con profondità fissata, in quanto il tempo a disposizione non verrebbe sfruttato a pieno. Inoltre, sempre nello stesso caso, anche dopo aver raggiunto la massima profondità di ricerca (e aver valutato l'utilità dei nodi foglia), non si saprebbe nulla riguardo la sopravvivenza di Ms PacMan a partire da quest'ultimi, per cui è strettamente necessaria una profondità di ricerca dinamica, che permetta di sfruttare a pieno l'intervallo concesso per la computazione, e identificare gli stati in grado di garantire con buona probabilità la sopravvivenza futura di Ms PacMan. Questo può avvenire con l'ausilio di due upgrade dell'algoritmo Minimax, ovvero Iterative Deepening e Quiescence Search.

La prima opzione consiste nell'incrementare iterativamente la massima profondità dell'albero di ricerca, finché non si esaurisce il tempo a disposizione, scegliendo la mossa con l'utilità maggiore nell'ultima iterazione completata.

Nella seconda, la ricerca non si ferma una volta raggiunta la massima profondità, ma questa prosegue finché non si raggiunge un punto sicuro, dove Ms PacMan possa

disporre di un sufficiente numero di opzioni per un'eventuale fuga. Ragionevolmente, tale punto può essere identificato da una giunzione.

Infine, l'utilizzo di euristiche per il taglio dei rami dell'albero delle soluzioni, o di particolari miglierie dell'algoritmo, potrebbe favorire un incremento della massima profondità raggiungibile.

Utilità.

Una semplice utilità di base può essere il calcolo dello score di ogni stato finale della simulazione, a patto di avere una profondità di ricerca ragionevole. Se così non fosse, dopo aver completato parzialmente il livello, Ms PacMan potrebbe non essere più in grado di trovare nuove mosse tale da massimizzare lo score, in quanto tutta l'area coperta dalla ricerca potrebbe essere priva di Pill o fantasmi da mangiare. Inoltre, pur disponendo di una buona profondità di ricerca, si possono presentare alcuni scenari dove la scelta tra più opzioni di pari utilità potrebbe portare Ms PacMan a percorrere dei loop, anche nel caso in cui sia possibile migliorare il punteggio attuale.

Si è notato però, che quanto più il tempo a disposizione per completare il livello fosse prossimo allo scadere, Ms PacMan tendesse ad abbandonare suddetti loop e a cercare di completare il livello negli ultimi istanti a disposizione, tuttavia senza successo. Questo perché nonostante Ms PacMan fosse bloccata in un loop, la maggior parte della simulazione era spesa nel livello successivo, dove la funzione di utilità risultava nuovamente efficiente.

Alla luce di tutto ciò, ed in virtù del fatto che la profondità di ricerca è dinamica (gli stati finali non hanno tutti lo stesso tempo di gioco, per via della Quiescence Search), è stata introdotta una penalità nella funzione di utilità, relativa al tempo trascorso nel livello, con l'intento di aiutare Ms.PacMan nel discriminare ulteriormente quegli stati che presentano lo stesso score, ma che impiegano un numero di mosse differente (trascorrendo più o meno tempo nel livello attuale).

Tuttavia, poiché l'utilità viene calcolata solo negli stati finali, accade che quando una delle simulazioni termina in un nuovo livello, il tempo trascorso in quest'ultimo viene dapprima inizializzato a zero, finendo così per privilegiare quelle soluzioni che perdono tempo nel livello corrente, e che trascorrono il minor tempo possibile in quello successivo.

Sebbene la cosa non crei alcun problema nel discriminare le soluzioni, la massimizzazione del punteggio finale è comunque legata al tempo impiegato, in quanto

vi è un limite massimo entro il quale la partita termina. Per tale ragione non è accettabile che si privilegino delle soluzioni lente.

La risoluzione di tale problematica avviene con l'aggiunta di un contributo positivo nella funzione di utilità, tale da conteggiare il numero di Pill mangiate rispetto allo stato iniziale del livello (più tempo si spende nel nuovo livello, più Pill si mangiano). Nonostante tale contributo sia già presente nello score (10 punti per ogni Pill mangiata), tale ridondanza permette di correggere adeguatamente il problema.

Una semplice alternativa, sarebbe l'introduzione di una singola penalità sul tempo totale di gioco, e non del singolo livello. Tuttavia, tale penalità tende a crescere eccessivamente con l'avanzamento del gioco, risultando meno efficiente.

Una seconda potrebbe essere il conteggio del numero di indici differenti che vengono coperti durante una simulazione. Di fatto, un elevato numero di indici coperti, potrebbe suggerire che tale simulazione non prevede un loop.

Ad ogni modo, la funzione di utilità ottenuta è composta da tre soli elementi:

1. Score di gioco.
2. Penalità sul tempo trascorso nel livello.
3. Numero di Pill mangiate rispetto allo stato iniziale del livello.

Qualora non fossimo in grado di raggiungere una profondità ragionevole, sarebbe opportuno introdurre una penalità data dalla media della distanza dalle Pill attive. In questo modo, si eviterebbe che Ms PacMan si allontani eccessivamente da quest'ultime, aggirando il problema dello spazio di ricerca privo di Pill. Tale penalità va gestita attentamente, poiché cresce significativamente quando si passa ad un nuovo livello (il quale contiene tutte le Pill), e potrebbe portare Ms PacMan a non mangiare nulla, per non avanzare di livello e incorrere in tale inconveniente.

Euristiche.

L'unica euristica adoperata coincide con il taglio di quei rami in cui Ms PacMan perde una vita, ognuno dei quali restituisce utilità pari a zero.

Sarebbe utile eliminare anche quei rami per cui Ms PacMan esegue un loop, verificando che Ms PacMan non sia già passata per l'attuale posizione. Tuttavia, tale scelta sarebbe sbagliata, poiché potrebbe esserci un'effettiva necessità di attraversare un loop, per diverse ragioni (una fuga ad esempio). Per questo motivo, sarebbe opportuno gestire tale problematica attraverso la funzione di utilità, come già descritto in precedenza.

Ms Pacman.

Al fine di garantire una buona profondità dell'albero di ricerca, è necessario trovare un compromesso riguardo il numero di mosse a disposizione di Ms PacMan durante le simulazioni degli stati del gioco.

È bene chiarire fin da subito che anche tale problema è da gestire in maniera dinamica, fornendo mosse aggiuntive all'occorrenza di particolari eventi di gioco, senza appesantire inutilmente il carico computazionale.

La scelta è quella di concedere a Ms.PacMan la possibilità di effettuare tutte le mosse possibili, a patto di non invertire la propria direzione, se non all'occorrenza di tre particolari eventi:

1. Al verificarsi di un'inversione globale, i fantasmi potrebbero ritrovarsi improvvisamente sul percorso di Ms PacMan, o in alternativa, una volta terminata l'inversione, trovare un nuovo percorso a costo minimo che la intercetti. In entrambi i casi, senza possibilità di tornare indietro, Ms PacMan andrebbe direttamente incontro ad uno dei fantasmi.
2. Quando viene mangiata una Power Pill, i fantasmi subiscono un'inversione forzata, e di conseguenza potrebbe risultare conveniente tornare immediatamente indietro, creando un percorso alternativo per cercare di massimizzare il punteggio, considerato che i fantasmi sono la fonte di punti più significativa.
3. Quando viene mangiato un fantasma, così come nel caso precedente, è importante fornire la massima flessibilità di movimento, al fine di trovare il percorso migliore verso la massimizzazione dell'edible score.

L'evento di inversione globale non viene simulato, poiché, essendo probabilistico e con seed casuale, potrebbe generare delle simulazioni incoerenti con lo stato futuro del gioco, portando alla valutazione di utilità false. D'altra parte, anche la valutazione di stati di gioco privi di inversioni globali può portare ad avere utilità false, tuttavia tutti quegli stati finali che vengono raggiunti realmente, senza che vi siano state inversioni globali, sono stati coerenti. Per questo motivo Ms PacMan reagisce ai soli eventi di inversione globale che si verificano realmente in gioco (con probabilità bassissima), e dunque la scelta di tornare indietro può avvenire solo nella radice dell'albero di ricerca, minimizzando l'impatto di tale mossa aggiuntiva sul costo computazionale (al più raddoppia la dimensione dell'albero di ricerca). La mitigazione di questa problematica potrebbe avvenire utilizzando un seed

fisso, che generi eventi di inversione globale simulati coerenti con lo stato futuro del gioco, tuttavia non spetta a noi modificare il framework a disposizione.

Diversamente, l'inversione forzata può essere simulata, poiché deterministica. Sebbene la possibilità di tornare indietro ad ognuno di questi eventi comporti un notevole carico computazionale addizionale (ogni volta che l'evento viene simulato, la dimensione del sottoalbero corrispondente raddoppia), i benefici sono indubbi. Lo stesso discorso vale quando Ms PacMan mangia un fantasma.

In ultimo, risulterebbe incredibilmente utile fornire a Ms PacMan la possibilità di tornare indietro dopo aver mangiato un gruppo di pill isolate. Purtroppo, il riconoscimento tale scenario risulta di difficile riuscita, e particolarmente oneroso, poiché andrebbe effettuato in ogni nodo dell'albero. Anche senza riconoscere il caso in questione, si potrebbe pensare di dare a Ms PacMan la possibilità di tornare indietro dopo aver mangiato una Pill o dopo aver raggiunto una giunzione, tuttavia tali scelte comportano un'esplosione della computazione, riducendo drasticamente la profondità di ricerca.

Tali problematiche potrebbero essere risolte attraverso la funzione di utilità, favorendo quelle soluzioni in grado di completare intere porzioni di mappa, senza lasciare Pill isolate. Purtroppo, il compito è più arduo del previsto, per cui non sarà risolto in questo caso.

Fantasma.

Se per Ms PacMan è stato necessario limitare solamente la possibilità di tornare indietro, per i fantasmi sarà necessario un taglio molto più drastico. In particolare quest'ultimi avranno a disposizione un'unica mossa, poiché scegliendo qualsiasi numero arbitrario, questo riduce la profondità di ricerca a dei valori inaccettabili per effettuare delle simulazioni significative.

Ne consegue che la scelta migliore è quella di riprodurre esattamente il comportamento dei fantasmi contro i quali vogliamo validare l'algoritmo di ricerca.

A fronte di mosse probabilistiche, è ragionevole prendere in considerazione la mossa con la probabilità più elevata. Tuttavia, nel caso di scelta uniforme, è necessario scegliere accuratamente la mossa da simulare, poiché il numero di fantasmi che effettuano una mossa casuale ha una particolare incidenza.

In definitiva, per quanto detto finora, si deduce che per i fantasmi con comportamento deterministico, la scelta sarà esattamente quella di riprodurre la loro mossa;

diversamente, per i fantasmi con comportamento probabilistico, si effettueranno scelte differenti in base al team che si intende affrontare, con l'intento finale di trovare una generalizzazione che si adatti a tutti i ghost team.

In avanti vedremo comunque due controllori in grado di simulare fino a quattro combinazioni di mosse dei fantasmi, tuttavia tutti i tentativi di incrementare (con criterio) tale numero sono stati fallimentari.

Algoritmo di Ricerca.

Come già introdotto in precedenza, l'algoritmo utilizzato per simulare gli stati del gioco è Minimax, tuttavia alcuni degli elementi già discussi incidono significativamente sulla struttura dell'algoritmo stesso, e sull'applicazione di eventuali migliorie.

Le limitazioni derivano unicamente dalla scelta di simulare una singola mossa da parte dei fantasmi, in particolare si verifica che:

1. Il nodo Min coincide con il nodo Max, poiché i fantasmi non eseguono un numero sufficiente di mosse (almeno due) per poter minimizzare l'utilità dei sottoalberi di un nodo Min.
2. Non è possibile utilizzare Alpha-Beta Pruning, in quanto non esiste il nodo Min. Di conseguenza anche eventuali migliorie di Alpha-Beta Pruning, o algoritmi di ottimizzazione basati su tale tecnica, non sono applicabili.

Sebbene vi siano evidenti limitazioni, i risultati che illustreremo sono soddisfacenti, per cui si ritengono accettabili le scelte effettuate.

In verità, come già accennato poco fa, sarà possibile vedere un esempio di Alpha-Beta Pruning, ma con un'applicazione molto ridotta, priva di qualsiasi altra miglioria (mantenendo comunque Iterative Deepening e Quiescence Search).

Tests.

Al fine di confrontare ed interpretare i risultati ottenibili dai diversi approcci riguardanti la selezione delle mosse effettuate dai fantasmi, quattro diversi controllori sono stati sviluppati e sottoposti a test di natura differente. La validazione è avvenuta su tutte le tipologie di fantasmi, così da poter evidenziare quelle che sono le problematiche e le differenze figlie delle diverse scelte implementative.

Innanzitutto sono stati fissati alcuni parametri in modo da velocizzare i test e renderli, allo stesso tempo, veritieri:

- Numero di partite: 100
- Limite in millisecondi per frame: 5
- Profondità massima iniziale: 100
- Incrementi di profondità: 20

I parametri sono stati scelti al fine di garantire buoni risultati in tempi accettabili, ovvero poco più di due ore per effettuare cento partite, poiché i test condotti con un limite di 38 ms ne richiedono almeno venti. Ovviamente, tali tempistiche rendevano impraticabile la ricerca di una parametrizzazione ottimale per la profondità massima iniziale, e per gli incrementi, per cui è stato necessario imporre tale limite al tempo di calcolo, nonostante le possibili discrepanze con i risultati ottenibili sfruttato tutto l'intervallo a disposizione per la computazione.

La profondità massima iniziale è tale da non superare il limite dei 5ms, mentre gli incrementi di 20 unità rendono molto più agevole la crescita della profondità, poiché con un numero tale di incrementi l'algoritmo riesce a valutare nuove sequenze di mosse significative.

Per quanto riguarda i quattro controllori sviluppati, questi si distinguono come:

1. Un controllore Minimax valido per tutti i tipi di fantasmi.
2. Un controllore Minimax specializzato contro i fantasmi Legacy.
3. Un controllore Alpha-Beta Pruning specializzato contro i fantasmi Legacy.
4. Un controllore ExpectiMinimax specializzato contro i fantasmi Legacy.

Il primo simula le mosse di ogni fantasma, considerando, per ognuno di essi, la mossa che più lo avvicina a Ms Pacman, risultando di fatto in un controllore specializzato contro i fantasmi Aggressive, e che non necessita della tecnica Alpha-Beta Pruning. Tale controllore è molto generico, infatti può essere applicato con successo contro qualsiasi tipologia di fantasma.

Il secondo considera per ogni fantasma la mossa coerente con la propria logica di movimento (es.: fra i fantasmi legacy il fantasma Inky si muove tenendo conto della distanza Manhattan da Ms.Pacman per cui il controllore simula la prossima mossa del fantasma Inky in funzione di questa tipo di distanza). Questo controllore è più specifico, ed infatti opera soltanto con i fantasmi Legacy, in quanto sono l'unica tipologia di fantasmi che prevede diversi criteri di movimento per ciascuno di essi. Vi è un'eccezione per il fantasma Sue, che effettua sempre una mossa casuale, e per il quale si sceglie la mossa

che più lo avvicina a Ms PacMan, ragionevolmente la migliore che possa fare. Si evince che, anche in questo caso, la tecnica Alpha-Beta Pruning non è utilizzabile, poiché, ancora una volta, per i fantasmi viene generata un'unica combinazione di mosse.

Infine per il terzo ed il quarto, anch'essi specializzati per i fantasmi Legacy, ma con differenze rispetto al caso precedente, l'intero set di mosse dei fantasmi viene simulato, e dunque tutte le possibili scelte casuali del fantasma Sue.

La particolarità di questi due controllori, è che nonostante la crescita del numero di stati simulati dei fantasmi (fino a 4), la computazione non esplode, poiché il numero complessivo di stati del gioco non cresce eccessivamente. Per tale ragione, si è in grado di utilizzare la stessa configurazione adoperata nei test precedenti, mantenendo una profondità massima iniziale molto alta.

Nonostante ciò, entrambi i suddetti controllori hanno il solo scopo di mostrare l'inefficienza di alcune scelte implementative.

Tutti i controllori raggiungono una profondità massima di 300 (con limite a 5ms), tuttavia è bene ricordare che nel caso di Alpha-Beta Pruning ed ExpectiMinimax, la profondità effettiva è esattamente la metà, poiché in questo caso vi sono rispettivamente il nodo Min ed il nodo con scelta casuale.

La seguente tabella mostra i risultati ottenuti utilizzando il controllore generico:

<i>Fantasmi</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Aggressive	186545	9852,345355	202170	152730	4.0	0
Starter	64984,8	18773,65694	93750	20820	0.97	50
Legacy 2	62212,2	15334,80457	84400	16390	1.35	36
Legacy	61093	22630,46608	108740	9560	0.12	93
Random	50129,3	6215,06593	66680	25030	2.57	8

L'algoritmo fornisce ottimi risultati per i fantasmi di tipo Aggressive e Legacy, mentre i risultati peggiori si ottengono per la categoria Random. È facile osservare che più fantasmi si muovono in modo deterministico più l'algoritmo fornisce risultati migliori, in

quanto è possibile riprodurre in maniera molto accurata il loro comportamento; mentre non sorprende il fatto che le scelte casuali siano in grado di limitare l'efficacia di quest'ultimo.

I punteggi elevati di Aggressive presentano una deviazione standard piuttosto bassa, questo perché l'unico fattore casuale in gioco è l'inversione globale, che può rovinare in alcuni casi le migliori occasioni per fare punti. Mentre il dato perfetto sulle vite medie e sui game over complessivi contro i fantasmi Aggressive, dimostra come l'unico ostacolo aggiuntivo alla massimizzazione del punteggio sia la sola funzione di utilità.

Tutti gli altri punteggi presentano una deviazione molto più elevata, in quanto il numero di fattori casuali cresce a seconda del tipo di fantasmi che stiamo affrontando. In verità i fantasmi Legacy 2 sono totalmente deterministici, tuttavia il controllore utilizzato simula il comportamento dei fantasmi Aggressive, ed è sì molto simile, ma traslascia alcune dinamiche.

I fantasmi Legacy rappresentano un punto debole in questo caso, poiché può capitare che i percorsi simulati non coincidano con quelli realmente intrapresi dai fantasmi, portando ad un dato sul numero di game over complessive piuttosto alto.

Diversamente, i fantasmi Random non sono in grado di mangiare Ms PacMan un numero consistente di volte, tuttavia sono in grado di rallentare significativamente il controllore.

La seguente tabella mostra invece i risultati ottenuti con l'applicazione del controllore specifico per i fantasmi Legacy, adoperato comunque su tutti i team di fantasmi:

<i>Fantasmi</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Aggressive	142270,7	37653,32461	178910	8140	1.45	30
Legacy	111949,7	11143,32665	128480	72550	2.15	16
Random	50956,5	8089,512516	66930	22210	1.97	16
Starter	28686,3	20586,91884	89240	3540	0.02	99
Legacy 2	25482,5	10824,68377	60020	5110	0.0	100

Un significativo incremento del punteggio medio, ed una drastica riduzione del numero di game over, elevano adeguatamente il risultato ottenuto contro i fantasmi Legacy.

La strategia Aggressive ne esce fortemente penalizzata, assieme a Legacy 2 e Starter (tutte e tre simili tra loro), per ovvia incompatibilità con la strategia privilegiata.

I fantasmi Random subiscono un leggero aumento dei game over, tuttavia il punteggio medio resta invariato.

Andando avanti, nella successiva tabella si riportano i risultati ottenuti con i fantasmi Legacy utilizzando il terzo controllore. Quest'ultimo è in grado di analizzare un maggior numero di stati, ma non effettua necessariamente previsioni corrette, poiché la prossima mossa del fantasma randomico non punta a minimizzare l'utilità di Ms PacMan, ma a rendere imprevedibile il proprio comportamento, non essendo possibile conoscere il seed del generatore del fantasma.

Per tali ragioni, questo controllore non può che limitarsi a considerare tutte le possibili combinazioni, sebbene una scelta non ottimale da parte di uno dei fantasmi non può che favorire Ms PacMan, in quanto non minimizza la sua utilità:

<i>Fantasmi</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Legacy	84007,3	20514,81137	112020	8450	0.95	50

Osserviamo come il punteggio sia nettamente inferiore a quello ottenuto con il controllore Minimax specializzato (dove non si considerano tutti i possibili stati); tuttavia, è comunque possibile ottenere un risultato migliore rispetto al controllore generico.

Come nei casi precedenti, il fattore casuale incide notevolmente sulla deviazione standard dei punteggi, nonostante lo sforzo aggiuntivo per simulare in maniera esaustiva il comportamento dei fantasmi.

Il parziale insuccesso di tale esperimento, ci convince a non proseguire nella simulazione di tutte le possibili mosse dei fantasmi, e all'applicazione di miglirie della tecnica Alpha-Beta Pruning, poiché le mosse casuali ne limitano fortemente l'efficienza (oltre che per impossibilità pratica oltre un certo numero di mosse), in quanto la forza di tali mosse risiede nell'imprevedibilità, e non nella massimizzazione o minimizzazione di un utilità.

In ultimo, vediamo il risultato fornito dal controllore ExpectiMinimax:

<i>Fantasmì</i>	<i>Punteggio Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	<i>Punteggio Massimo</i>	<i>Punteggio Minimo</i>	<i>Vite Medie</i>	<i>Game Over</i>
Legacy	52683,6	24186,13977	104390	6580	0.09	94

La totale mancanza di miglioramenti in ogni singola statistica, ci riporta a quanto appena detto per il controllore Alpha-Beta Pruning, ovvero che l'aver introdotto un maggior numero di stati non migliora l'esito finale.

Si aggiunge che tale controllore ha ottenuto un risultato persino peggiore del controllore generico, per cui anche in questo caso non si può che abbandonare l'idea di proseguire in questa direzione.

Non possiamo dire molto altro sugli approcci Alpha-Beta Pruning e ExpectiMinimax, in quanto i risultati ottenuti non sono stati brillanti, principalmente perché paragonati a quelli ottenuti con controllori specifici. Di fatto non possiamo dire nulla riguardo il loro comportamento contro un avversario del tutto sconosciuto, in quanto non è possibile esplorare adeguatamente lo spazio degli stati (si riescono a gestire al più 4 combinazioni di mosse).

Confronto degli agenti realizzati.

Alla luce dei risultati ottenuti, è abbastanza chiaro come il controllore Minimax generico, sia quello in grado di massimizzare al meglio i punteggi contro tutte le strategie dei fantasmi.

Tuttavia, nei vari esperimenti abbiamo visto come alcune semplici variazioni (o specializzazioni), siano in grado di sortire effetti davvero significativi contro particolari tipologie di fantasmi.

Sebbene i controllori Minimax risultino ampiamente superiori sulle tipologie Legacy, Legacy 2, Aggressive e Starter, nulla possono contro i fantasmi Random. Infatti, essi non reggono il confronto con il primo agente analizzato (reattivo semplice), sia per punteggio medio, che per numero di game over e vite medie.

La causa principale è da rimandare alla totale imprevedibilità del movimento dei fantasmi. Di fatto, i controllori Minimax non sono in grado di correggere sempre una simulazione errata, mentre l'agente basato su regole può trovare una soluzione che eviti tutti i pericoli, senza fare alcuna assunzione sul movimento dei fantasmi.

Ne consegue che i primi sono in grado di gestire perfettamente i comportamenti deterministici, se simulati adeguatamente bene; mentre i secondi potrebbero al più scegliere la prossima mossa da effettuare stimando eventuali situazioni future basandosi su delle regole impostate ad hoc. In tal caso non si hanno possibilità di scelta ottime come nel caso degli algoritmi Minimax, in cui viene esplorato correttamente lo spazio degli stati. Per quanto riguarda i comportamenti non-deterministici, i controllori basati su utilità potrebbero effettuare delle simulazioni non conformi agli stati futuri, anche a causa dei limiti imposti in termini di esplorazione dello spazio degli stati; mentre quelli basati su regole possono semplicemente effettuare una ricerca esaustiva di tutte le possibili situazioni future e trovare una soluzione sicura, a prescindere dal tipo di movimento dei fantasmi.

L'essere totalmente svincolati dalla conoscenza dei movimenti dei fantasmi potrebbe essere un incredibile vantaggio, soprattutto in ambienti in cui non si conosce alcun dettaglio dell'avversario. Tuttavia, potrebbe rappresentare un incredibile limite a fronte di comportamenti ben noti.