

Capitolo 6

Implementazione e prove sperimentali

In questo capitolo verranno presentate le caratteristiche tecnologiche dei veicoli utilizzati nella fase sperimentale, le proprietà fisiche di ogni scenario modellato e le varie misure di qualità.

Per ogni scenario verrà illustrata la complessità ambientale, insieme alla rappresentazione reale ed al modello della relativa mappa, per comprendere le caratteristiche morfologiche dell'area e la struttura degli ostacoli presenti. Verranno, inoltre, analizzate le informazioni relative ai parametri utilizzati nella fase di ottimizzazione e adattamento delle metaeuristiche alla missione.

Infine, i risultati sperimentali verranno presentati alla fine di ogni scenario ed alla fine del capitolo per un'analisi comparative con risultati già presenti in letteratura.

6.1 Specifiche tecniche del drone

Le caratteristiche ambientali dei vari scenari sono state prese in considerazione per le specifiche tecniche degli UAV disponibili in commercio. La tecnologia selezionata per modellare gli agenti responsabili del completamento della missione è la seguente:

- *Modello drone:* Dji Matrice M200

- *Sensore di rilevamento:* Dji Zenmuse XT2 (Visual + Thermal Camera)

Tale tecnologia è stata adottata sulla base delle conoscenze e delle competenze acquisite in diversi progetti che utilizzano la tecnologia UAV per il monitoraggio e la sorveglianza ambientale. In particolare, la tecnologia di rilevamento proposta, si basa su [29] e [30];



Figura 6.1: Rappresentazione del drone Dji Matrice M200 equipaggiato con il sensore Dji Zenmuse XT2.

Le tabelle 6.1 e 6.2, invece, mostrano, rispettivamente, la configurazione parametrica relativa alle specifiche del drone [31] e le apparecchiature di sensing utilizzate in fase di simulazione.

Parameter	Value
Radius	0.3 m
Max speed	17 m/s
Max acceleration	4.4 m/s^2
Max angular speed	2.6 rad/s
Max angular acceleration	7 rad/s^2
Battery duration	24 min
Obstacle vision distance	$3 - 30\text{ m}$
Obstacle vision angle	60°

Tabella 6.1: Specifiche tecniche del modello di drone *Dji Matrice 200*.

Sensing technology	Sensor model	Sensing radius
Visual + Thermal	Dji Zenmuse XT2	5 m

Tabella 6.2: Specifiche tecniche dell'equipaggiamento di sensing.

6.2 Scenario *Illegal Dump*

In questa sezione sono illustrati lo scenario utilizzato e le varie misure di qualità. Lo scenario è statico: *Illegal Dump* si basa sulla mappa di una discarica abusiva di Paternò, Italia [32]. Di seguito sono riportate le caratteristiche dello scenario:

- *Area in metri:* 400 x 400
- *Area in patch:* 201 x 201
- *Dimensione patch:* 1.99m x 1.99m
- *Conversione spaziale:* 1 m = 0.502 patch
- *Conversione temporale:* 1 s = 1 tick
- *Numero target statici presenti nell'area:* 42

- *Numero target dinamici presenti nell'area:* 0
- *Numero ostacoli presenti nell'area:* 7174
- *Flotta utilizzata:* 80 droni

Lo scenario presenta solo target statici, di conseguenza la funzione obiettivo è rappresentata dal tempo di rilevamento del 95% dei target.

Per osservarne la complessità ambientale, le figure 6.2 e 6.3 mostrano la mappa satellitare utilizzata per *Illegal Dump*, e la corrispondente immagine vettoriale iniziale rappresentata nell'ambiente di simulazione, rispettivamente. Qui, gli ostacoli (edifici e alberi) sono rappresentati in grigio, mentre i bersagli sono rappresentati come 'x' nere. I droni sono posizionati agli angoli e sono orientati verso il centro dell'area.



Figura 6.2: Immagine satellitare dello scenario Illegal Dump.



Figura 6.3: Immagine vettoriale dello scenario Illegal Dump.

La configurazione dei parametri tecnologici utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Illegal Dump* è illustrata di seguito e riassunta nella tabella 6.3.

- *algoritmo* = *Sciadro* 3.1: la missione che viene simulata attraverso questo algoritmo è di tipo esplorativo; per tale motivo viene utilizzata la strategia di *Sciadro* 3.1 con l'obiettivo principale di scoprire il 95% dei target distribuiti nell'area;
- *strategy* = 3: la logica di coordinamento comprende, in questo modo, stigmergia e flocking;
- *droneRadius* = 0.2: dalle specifiche tecniche del drone, il raggio è uguale a $0.3215\text{ m} = 0.1614\text{ patch}$;
- *speedMax* = 8.5: dalle specifiche tecniche del drone, la velocità massima in modalità professionale (che supporta il sistema di *sense and avoid*) è uguale a $17\text{ m/s} = 8.534\text{ patch/tick}$;
- *cruisingSpeed* = 2: per garantire l'affidabilità del rilevamento dei sensori e per avere sufficiente spazio di frenata, il drone deve viaggiare ad una velocità non superiore a 13.8 m/s . Per una maggiore sicurezza si limita tale velocità a $4\text{ m/s} = 2.008\text{ patch/tick}$;

- $acceleration = 2$, $deceleration = -2$: si considera un'accelerazione pari a $4.44 \text{ m/s}^2 = 2.229 \text{ patch/tick}^2$;
- $angularVelMax = 2.6$: in relazione all'angolo di imbardata, il drone può raggiungere una velocità angolare massima di 2.618 rad/s ;
- $angularAcc = 7$, $angularDec = -7$: considerando la logica del simulatore ed il dato relativo alla velocità angolare del drone, si ottiene un'accelerazione angolare di 6.98 rad/s^2 ;
- $endurance = 24$: viene considerata la durata minima della batteria di un drone del modello in esame;
- $sensingRadius = 2.5$: per calcolare questo valore, bisogna considerare una quota di volo pari a 10 m ;
- $sensingAngle = 360$;
- $reachableRadius = 4$: questo parametro rappresenta il raggio del settore circolare che il drone può prenotare ad ogni singola iterazione ed è collegato, di conseguenza, alla velocità di crociera;
- $reachableAngle = 360$: si considera un valore di 360° al fine di garantire l'assenza di collisioni;
- $collisionVision = 6$: si deve considerare lo spazio di frenata necessario al drone per evitare la collisione, partendo dai parametri velocità ed accelerazione;
- $sightAngleMax = 60$: dalle specifiche tecniche del drone, il *Field of View* è pari a 60° ;
- $gapAngle = 20$: rappresenta l'angolo minimo necessario per l'attraversamento di un varco.

Parameter	Value
Radius	0.2 patch
Max speed	8.5 patch/tick
Cruising speed	2 patch/tick
Max acceleration	2 patch/tick^2
Max deceleration	-2 patch/tick^2
Max angular speed	2.6 rad/s
Max angular acceleration	7 rad/s^2
Max angular deceleration	-7 rad/s^2
Battery duration	1440 tick
Sensing radius	2.5 patch
Sensing angle	360°
Reachable radius	4 patch
Reachable angle	360°
Obstacle vision distance	6 patch
Obstacle vision angle	60°
Gap angle	20°

Tabella 6.3: Configurazione parametrica della tecnologia utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Illegal Dump*.

6.2.1 Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution

Come indicato nel paragrafo 5.1, per la fase di ottimizzazione parametrica attraverso l'algoritmo di *Differential Evolution*, è necessario fornire, oltre che i parametri da ottimizzare, anche degli intervalli che definiscono l'iperspazio all'interno del quale si effettua la ricerca dei valori ottimali. Uno schema riassuntivo dei suddetti intervalli è presentato nella tabella 6.4

Parameter	Interval
radiusTop	[1, 13]
radiusDown	[13, 19]
evapRate	[0.01, 0.1]
olfaction	[1, 10]
flockAngle	[15, 45]
wiggleVar	[5, 15]
radiusSeparate	[6, 16]
maxSeparateTurn	[30, 45]
radiusAlign	[16, 22]
maxAlignTurn	[30, 45]
radiusCohere	[18, 26]
maxCohereTurn	[15, 30]

Tabella 6.4: Configurazione degli intervalli per l’ottimizzazione parametrica, attraverso l’algoritmo di *Differential Evolution*, utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Illegal Dump*.

Nel capitolo 5, abbiamo ampiamente illustrato le caratteristiche dell’algoritmo di DE. In particolare, in questo caso avremo una popolazione di NP elementi, dove ogni elemento è rappresentato da un vettore dei D parametri da ottimizzare. Nel caso specifico, com’è possibile osservare dalla tabella 6.4, $D = 12$.

Per quanto riguarda NP , invece, in letteratura si trovano valori che vanno da $2D$ a $40D$. Una popolazione grande, infatti, incrementa la possibilità di trovare la soluzione ottima, anche se ha un costo elevato in termini di tempo. Per bilanciare questi due fattori, si è utilizzato un valore pari a $NP = 4D = 48$.

Infine, sono stati impostati sia gli iperparametri F e CR , per le fasi di mutazione e crossover dell’algoritmo di DE, che la strategia di crossover. Al fine di confrontare i risultati sperimentali di questo ambiente di simulazione con altri già effettuati sugli stessi scenari in [22], sono stati utilizzati gli stessi valori sia per il tasso di mutazione F che per strategia e coefficiente di crossover CR . In particolare:

- *Strategia di crossover*: DE/rand/1/bin;
- *Tasso di mutazione*: $F = 0.7$;
- *Coefficiente di crossover*: $CR = 0.5$

6.2.2 Risultati sperimentali

La strategia di *Sciadro 3.1* è stata implementata in NetLogo, una piattaforma di simulazione per *Swarm Intelligence*. L'ottimizzazione parametrica, invece, è stata costruita utilizzando la libreria *SciPy* di *Python*.

L'algoritmo di coordinamento dello sciame è stato testato sullo scenario *Illegal Dump*, con la seguente strategia:

- 5 esecuzioni dell'algoritmo di *Differential evolution*;
- 3 ripetizione della simulazione per ogni elemento della popolazione;
- *Fitness function*: $f(x) = \#tick[95\% \text{ target}_{found}]$

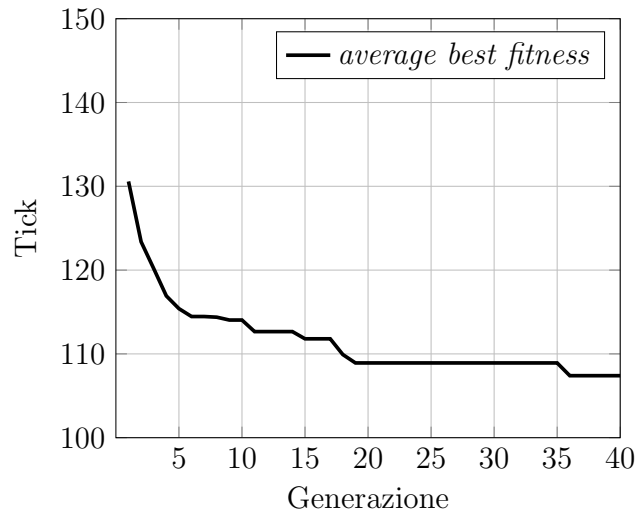


Figura 6.4: Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution, andamento della media tra le migliori fitness function delle 5 esecuzioni, al variare della generazione

Algorithm	Performance (tick)
Sciadro 3.1 + Matlab DE	121.70 ± 4.75
Sciadro 3.1 + SciPy DE	107.40 ± 3.10

Tabella 6.5: Analisi comparativa delle performance.

6.3 Scenario *Rural Mine*

Lo scenario è statico: *Rural Mine* si basa su dati di pubblico dominio relativi a mine antiuomo presenti in aree extraurbane vicino Sarajevo, Bosnia-Herzegovina [33]. Di seguito sono riportate le caratteristiche dello scenario:

- *Area in metri:* 400 x 400
- *Area in patch:* 201 x 201
- *Dimensione patch:* 1.99m x 1.99m
- *Conversione spaziale:* 1 m = 0.502 patch
- *Conversione temporale:* 1 s = 1 tick
- *Numero target statici presenti nell'area:* 28
- *Numero target dinamici presenti nell'area:* 0
- *Numero ostacoli presenti nell'area:* 285
- *Flotta utilizzata:* 80 droni

Lo scenario presenta solo target statici, di conseguenza la funzione obiettivo è rappresentata dal tempo di rilevamento del 95% dei target.

Per osservarne la complessità ambientale, le figure 6.5 e 6.6 mostrano la mappa satellitare utilizzata per *Rural Mine*, e la corrispondente immagine vettoriale iniziale rappresentata nell'ambiente di simulazione, rispettivamente. Gli ostacoli sono rappresentati in grigio, mentre i bersagli sono rappresentati come 'x' nere. I droni sono posizionati agli angoli e sono orientati verso il centro dell'area.



Figura 6.5: Immagine satellitare dello scenario Rural Mine.

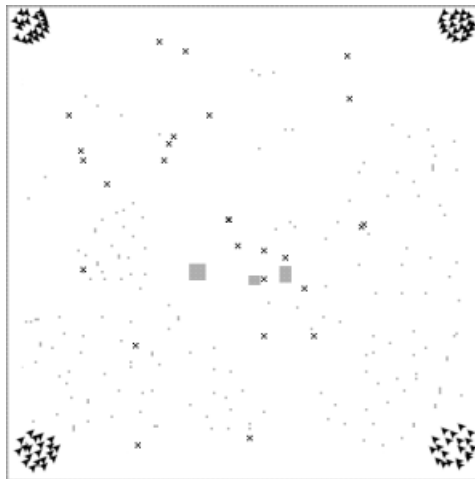


Figura 6.6: Immagine vettoriale dello scenario Rural Mine.

La configurazione dei parametri tecnologici utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Rural Mine* è riassunta nella tabella 6.6.

Parameter	Value
Radius	0.2 patch
Max speed	8.5 patch/tick
Cruising speed	2 patch/tick
Max acceleration	2 patch/tick^2
Max deceleration	-2 patch/tick^2
Max angular speed	2.6 rad/s
Max angular acceleration	7 rad/s^2
Max angular deceleration	-7 rad/s^2
Battery duration	1440 tick
Sensing radius	2.5 patch
Sensing angle	360°
Reachable radius	4 patch
Reachable angle	360°
Obstacle vision distance	6 patch
Obstacle vision angle	60°
Gap angle	20°

Tabella 6.6: Configurazione parametrica della tecnologia utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Rural Mine*.

6.3.1 Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution

Uno schema riassuntivo degli intervalli utilizzati per la fase di ottimizzazione parametrica attraverso l'algoritmo di *Differential Evolution* è presentato nella tabella 6.7

Parameter	Interval
radiusTop	[1, 13]
radiusDown	[13, 19]
evapRate	[0.01, 0.1]
olfaction	[1, 10]
flockAngle	[15, 45]
wiggleVar	[5, 15]
radiusSeparate	[6, 16]
maxSeparateTurn	[30, 45]
radiusAlign	[16, 22]
maxAlignTurn	[30, 45]
radiusCohere	[18, 26]
maxCohereTurn	[15, 30]

Tabella 6.7: Configurazione degli intervalli per l’ottimizzazione parametrica, attraverso l’algoritmo di *Differential Evolution*, utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Rural Mine*.

I valori relativi agli iperparametri sono i seguenti:

- *Strategia di crossover*: DE/rand/1/bin;
- *Tasso di mutazione*: $F = 0.7$;
- *Coefficiente di crossover*: $CR = 0.5$

6.3.2 Risultati sperimentali

L’algoritmo di coordinamento dello sciame è stato testato sullo scenario *Rural Mine*, con la seguente strategia:

- 5 esecuzioni dell’algoritmo di *Differential evolution*;
- 3 ripetizione della simulazione per ogni elemento della popolazione;
- *Fitness function*: $f(x) = \#tick[95\% target_{found}]$

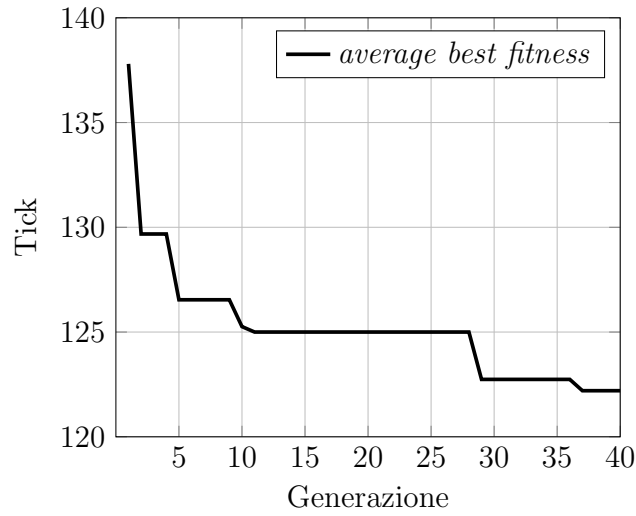


Figura 6.7: Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution, andamento della media tra le migliori fitness function delle 5 esecuzioni, al variare della generazione

Algorithm	Performance (tick)
Sciadro 3.1 + Matlab DE	125.96 \pm 8.90
Sciadro 3.1 + SciPy DE	122.20 \pm 3.89

Tabella 6.8: Analisi comparativa delle performance.

6.4 Scenario *Urban Mine*

Lo scenario è statico: *Urban Mine* si basa su dati di pubblico dominio relativi a mine antiuomo presenti in aree urbane vicino Sarajevo, Bosnia-Herzegovina [33]. Di seguito sono riportate le caratteristiche dello scenario:

- *Area in metri*: 400 x 400
- *Area in patch*: 201 x 201
- *Dimensione patch*: 1.99m x 1.99m

- *Conversione spaziale:* 1 m = 0.502 patch
- *Conversione temporale:* 1 s = 1 tick
- *Numero target statici presenti nell'area:* 40
- *Numero target dinamici presenti nell'area:* 0
- *Numero ostacoli presenti nell'area:* 3664
- *Flotta utilizzata:* 80 droni

Lo scenario presenta solo target statici, di conseguenza la funzione obiettivo è rappresentata dal tempo di rilevamento del 95% dei target.

Per osservarne la complessità ambientale, le figure 6.8 e 6.9 mostrano la mappa satellitare utilizzata per *Urban Mine*, e la corrispondente immagine vettoriale iniziale rappresentata nell'ambiente di simulazione, rispettivamente. Gli ostacoli sono rappresentati in grigio, mentre i bersagli sono rappresentati come 'x' nere. I droni sono posizionati agli angoli e sono orientati verso il centro dell'area.

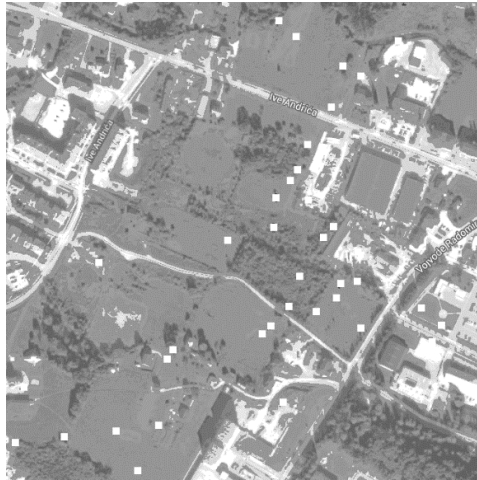


Figura 6.8: Immagine satellitare dello scenario Urban Mine.

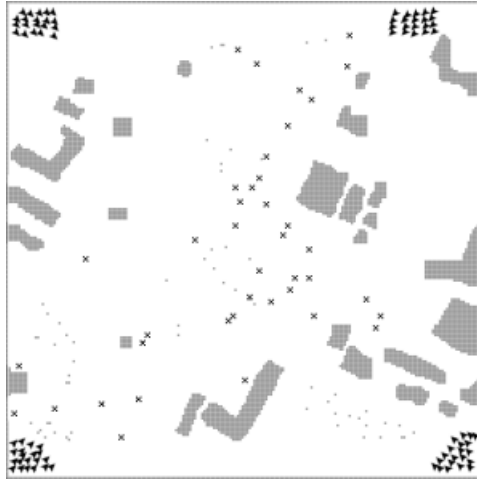


Figura 6.9: Immagine vettoriale dello scenario Urban Mine.

La configurazione dei parametri tecnologici utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Urban Mine* è riassunta nella tabella 6.9.

Parameter	Value
Radius	0.2 patch
Max speed	8.5 patch/tick
Cruising speed	2 patch/tick
Max acceleration	2 patch/tick^2
Max deceleration	-2 patch/tick^2
Max angular speed	2.6 rad/s
Max angular acceleration	7 rad/s^2
Max angular deceleration	-7 rad/s^2
Battery duration	1440 tick
Sensing radius	2.5 patch
Sensing angle	360°
Reachable radius	4 patch
Reachable angle	360°
Obstacle vision distance	6 patch
Obstacle vision angle	60°
Gap angle	20°

Tabella 6.9: Configurazione parametrica della tecnologia utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Urban Mine*.

6.4.1 Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution

Uno schema riassuntivo degli intervalli utilizzati per la fase di ottimizzazione parametrica attraverso l'algoritmo di *Differential Evolution* è presentato nella tabella 6.10

Parameter	Interval
radiusTop	[1, 13]
radiusDown	[13, 19]
evapRate	[0.01, 0.1]
olfaction	[1, 10]
flockAngle	[15, 45]
wiggleVar	[5, 15]
radiusSeparate	[6, 16]
maxSeparateTurn	[30, 45]
radiusAlign	[16, 22]
maxAlignTurn	[30, 45]
radiusCohere	[18, 26]
maxCohereTurn	[15, 30]

Tabella 6.10: Configurazione degli intervalli per l’ottimizzazione parametrica, attraverso l’algoritmo di *Differential Evolution*, utilizzata nella fase sperimentale dello scenario *Urban Mine*.

I valori relativi agli iperparametri sono i seguenti:

- *Strategia di crossover*: DE/rand/1/bin;
- *Tasso di mutazione*: $F = 0.7$;
- *Coefficiente di crossover*: $CR = 0.5$

6.4.2 Risultati sperimentali

L’algoritmo di coordinamento dello sciame è stato testato sullo scenario *Urban Mine*, con la seguente strategia:

- 5 esecuzioni dell’algoritmo di *Differential evolution*;
- 3 ripetizione della simulazione per ogni elemento della popolazione;
- *Fitness function*: $f(x) = \#tick[95\% target_{found}]$

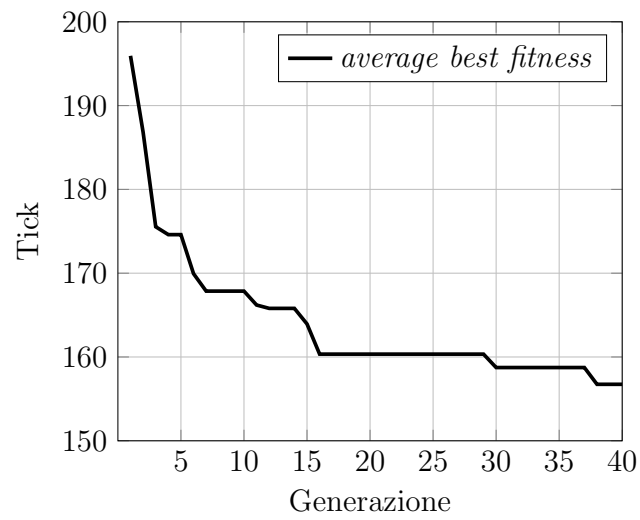


Figura 6.10: Ottimizzazione parametrica con Differential Evolution, andamento della media tra le migliori fitness function delle 5 esecuzioni, al variare della generazione

Algorithm	Performance (tick)
Sciadro 3.1 + Matlab DE	152.38 \pm 5.25
Sciadro 3.1 + SciPy DE	160.34 \pm 5.42

Tabella 6.11: Analisi comparativa delle performance.