

**Universal Locomotion System - Progetto
Esecutivo Etna**

<i>Written by</i>	
Bongiovanni Antonino	Written on 10/02/2026 16:38
<i>Verified By</i>	
Scalise Genny	Verified on 10/02/2026 16:39
Filippini Leonardo	Verified on 11/02/2026 13:52
Infantino Antonio	Verified on 11/02/2026 10:16
Merlo Andrea	Verified on 10/02/2026 17:27
<i>Approved By</i>	
Ferri Antonella	Approved on 11/02/2026 14:03
<i>Released By</i>	
Filippini Leonardo	Released on 11/02/2026 14:04

Approval evidence is kept within the documentation management system.

Universal Locomotion System (ULS)

Progetto Esecutivo Etna

Written by	Responsibility + handwritten signature if no electronic workflow tool
A. Bongiovanni	Author
Verified by	
G. Scalise	Checker
L. Filippini	Configuration Manager
A. Infantino	Product Assurance Manager
A. Merlo	Project Design Authority
Approved by	
A. Ferri	Program Manager
Released by	
L. Filippini	Configuration Administrator

Approval evidence is kept within the document management system.

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

Change Records

ISSUE	DATE	§ CHANGE RECORDS	AUTHOR
01	10/02/2026	First issue of Progetto Esecutivo Etna	A. Bongiovanni

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

Table of contents

1.1	Scopo e finalità	4
1.2	Documenti applicabili	4
1.3	Documenti di riferimento	4
1.4	Definizioni e Acronimi	4
1.5	Struttura del documento	5
2.1	Obiettivi del programma	6
2.2	Inquadramento territoriale e localizzazione	6
2.3	Descrizione dei Sistemi Tecnici Impiegati	8
2.3.1	 Container – laboratorio	8
2.3.2	 Rover ULS	10
2.3.3	 Drone	13
2.4	Descrizione delle Attività	13
2.4.1	 Movimentazione ed installazione del laboratorio mobile nella zona d'interesse	13
2.4.2	 Test di Teleoperazione e Navigazione Autonoma	14
2.4.3	 Test dei Payload Scientifici installati sul rover	16
2.4.4	 Rimozione e movimentazione del laboratorio dalla zona definita	21

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

1 Introduzione

1.1 Scopo e finalità

Il presente progetto esecutivo è redatto ai fini dell'espletamento della procedura di Valutazione di Incidenza Ambientale (**VInCA**), ai sensi dell'art. 5 del D.P.R. 8 settembre 1997, n. 357 e ss.mm.ii. (come aggiornato dal D.P.R. 12 marzo 2003, n. 120), nonché in conformità alle disposizioni regionali per la Sicilia contenute nel D.A. 14 febbraio 2022, n. 36 (e relativi aggiornamenti operati dal D.A. 29 giugno 2023, n. 237), oltre alla normativa regionale vigente e agli strumenti di pianificazione del Parco Etna.

L'intervento oggetto di valutazione consiste nel temporaneo posizionamento di un container-laboratorio nell'area di Piano delle Concazze e dello svolgimento di un'attività sperimentale per mezzo di un prototipo di rover lunare (robot mobile su ruote), da effettuarsi in area ricadente all'interno del sito della Rete Natura 2000. Le attività sommariamente descritte ricadono all'interno del programma Universal Locomotion System (**ULS**) dell'Agenzia Spaziale Italiana (**ASI**). L'attività ha carattere temporaneo, sperimentale e reversibile, e non prevede la realizzazione di opere permanenti né modificazioni dello stato dei luoghi. A fine sperimentazione, il rover, il container-laboratorio e tutta la strumentazione utilizzata per suddetti test verranno rimossi dal sito, il quale verrà lasciato come nelle condizioni originali, senza alcuna traccia di intervento.

1.2 Documenti applicabili

ID	Title
AD 01	Valutazione di Incidenza Ambientale (VInCA) Livello I Screening

1.3 Documenti di riferimento

ID	Title
RD 01	Attestato Pilota Drone EU OPEN A1-A3 – Antonino Bongiovanni
RD 02	Attestato Pilota Drone EU OPEN A1-A3 – Gianluca Dara
RD 03	Attestato Pilota Drone EU OPEN A1-A3 – Patrick Roncagliolo

1.4 Definizioni e Acronimi

Acronym	Definition
ULS	Universal Locomotion System
VInCA	Valutazione di Incidenza Ambientale
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
ToF	Time of Flight
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMU	Inertial Measurement Unit

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

Acronym	Definition
AI	Artificial Intelligence
UWB	Ultra Wideband
GNSS RTK	Global Navigation Satellite System Real-Time Kinematic
ENAC	Ente Nazionale per l'Aviazione Civile
ROS2	Robotics Operating System 2
ISRU	In-Situ Resource Utilization
OBC	On-Board Computer
VLOS	Visual Line of Sight

1.5 Struttura del documento

La struttura del documento viene sommariamente riportata sotto:

Sezione 2 – Progetto Esecutivo

- Sezione 2.1 – Obiettivi del programma
- Sezione 2.2 – Inquadramento territoriale e localizzazione
- Sezione 2.3 – Descrizione dei Sistemi Tecnici Impiegati, quali il container - laboratorio, il rover ULS ed il drone.
- Sezione 2.4 – Descrizione delle Attività della campagna di test. Vengono dettagliate le operazioni di installazione e movimentazione del container al sito di test, i test del solo sistema rover, i test dei payloads e, infine, le attività di rimozione e movimentazione dal sito di test.

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

2 Progetto Esecutivo

2.1 Obiettivi del programma

Il programma in esame ha come finalità la sperimentazione e il collaudo del rover progettato all'interno del programma ULS – progetto dell'Agenzia Spaziale Italiana – atto a sviluppare e testare un prototipo di rover lunare finalizzato ad attività di ricerca e sviluppo tecnologico. Il test è limitato nel tempo e nello spazio e non comporta alterazioni fisiche, chimiche, o biologiche dell'ambiente naturale del sito della Rete Natura 2000. Il sistema robotico sviluppato sarà di dimensione 1.80 m (L) × 1.80 m (P) × 1.50 m (H), avrà un peso massimo di 300 kg e opererà con una velocità massima di 10 cm/s.

Durante l'intervento, di durata 32 giorni e da effettuare tra il mese di luglio e di agosto 2026, degli operatori autorizzati (dipendenti di Thales Alenia Space Italia) svolgeranno, con la piattaforma robotica sviluppata, test di locomozione teleoperata e autonomia nella zona identificata come Piana delle Concazze, selezionata a seguito di sopralluogo effettuati a settembre 2025. Durante i test di teleoperazione (guida con joystick), un operatore sul sito comanderà i movimenti del robot tramite un joystick per muovere la piattaforma nell'ambiente. All'attivazione della locomozione autonoma, invece, l'operatore fornirà uno o più target al robot, il quale dovrà raggiungerli autonomamente selezionando il percorso migliore. In entrambi i casi gli operatori sul sito avranno sempre visione diretta del robot per monitorare, ed eventualmente interrompere l'esecuzione delle task.

Ad inizio campagna di test, un container di dimensioni 6.05 m (L) × 2.45 m (P) × 2.60 m (H) verrà trasportato e posizionato sull'area del Monte Etna in Piana delle Concazze. Questo container agirà come base per gli operatori e come area di immagazzinamento del rover e degli strumenti necessari a svolgere i test. Al termine della campagna di test, il container (contenente tutta l'attrezzatura utilizzata per i suddetti test) verrà rimosso riportando l'area alle sue condizioni originali, senza alcuna traccia dell'attività svolta.

2.2 Inquadramento territoriale e localizzazione

L'area oggetto della presente relazione è localizzata nel versante Nord-Est del complesso vulcanico dell'Etna, in corrispondenza dell'altopiano d'alta quota denominato Piano delle Concazze. La collocazione e tipologia del sito viene ampiamente caratterizzata nel documento *“Valutazione di Incidenza Ambientale (VIncA) Livello I Screening”* citato al paragrafo 1.2. Il sito è amministrativamente situato nel territorio del Comune di Linguaglossa e ricade integralmente all'interno della Zona A (Riserva Integrale) del Parco Etna, area soggetta ai massimi vincoli di tutela ambientale e paesaggistica.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area si attesta a una quota media di circa 2.800 m s.l.m. La localizzazione puntuale è identificata dalle coordinate geografiche 37.7662428° N, 15.0124878° E (WGS84). Nello specifico, la pianificazione degli interventi interessa una porzione di territorio denominata "Area test", definita graficamente come un poligono irregolare.

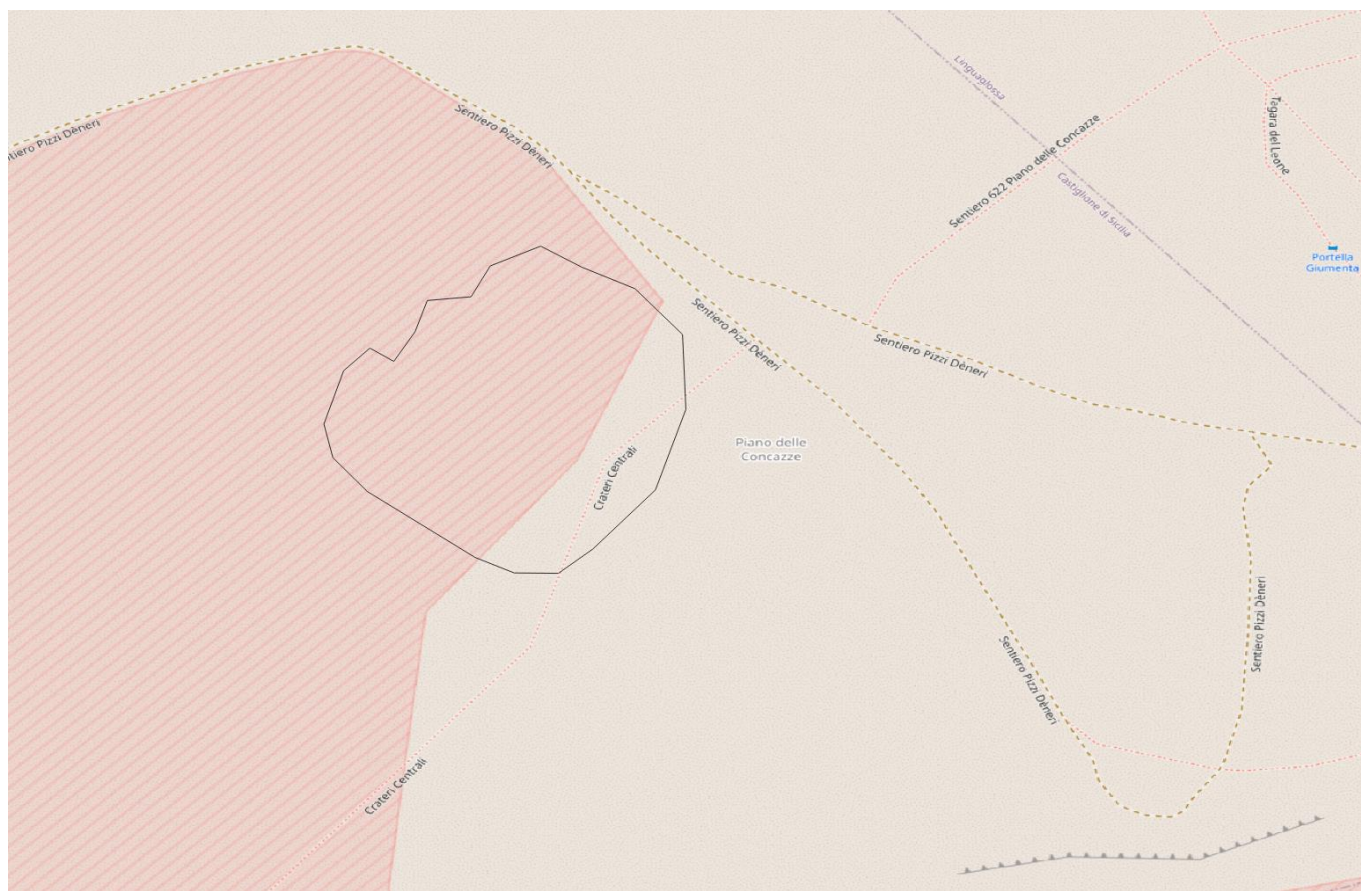


Figure 2-1 Area test identificata a Piano delle Concazze (scala 1:1000).

Come evidenziato dalla cartografia di dettaglio, il perimetro dell'area test è delimitato a Nord e a Est dai tracciati del Sentiero Pizzi Deneri, mentre il margine sud-occidentale si estende verso le pendici dei Crateri Centrali. Il sito presenta una superficie dominata da depositi piroclastici ed è caratterizzato da un'elevata valenza scientifica e monitoristica, data la sua prossimità all'Osservatorio Vulcanologico.

Nella foto sottostanti si può vedere la zona selezionata per effettuare i test.



Figure 2-2 Foto della zona di interesse per effettuare i test scattate durante il sopralluogo a Settembre 2025.

2.3 Descrizione dei Sistemi Tecnici Impiegati

Le attività di test sul Monte Etna prevedono l'impiego di una configurazione integrata di sistemi tecnici progettati per operare in ambiente impervio e rappresentativo di scenari extraterrestri. La presente sezione fornisce una descrizione tecnica dettagliata dei principali elementi che costituiranno l'infrastruttura operativa temporanea nell'area di test.

Il sistema è articolato su tre componenti fondamentali: il container-laboratorio che funge da base operativa e centro di controllo, il rover ULS quale sistema robotico mobile principale sottoposto a validazione, e il drone leggero come payload aereo per supporto alla navigazione autonoma. Ciascun sistema è stato progettato con particolare attenzione alla minimizzazione dell'impatto ambientale, alla sicurezza operativa e alla reversibilità degli interventi sul territorio del Parco.

Le descrizioni che seguono illustrano le caratteristiche tecniche e le modalità operative per ciascun sistema, al fine di fornire all'Ente Parco un quadro completo e trasparente delle attività che verranno condotte durante la campagna di test.

2.3.1 Container – laboratorio

Per le operazioni di test con il rover sarà utilizzato un container marittimo standard da 20 piedi, dal peso pari a 3 tonnellate, che fungerà da base operativa e deposito attrezzature. Il container-laboratorio è dotato di un sistema di climatizzazione per garantire condizioni operative adeguate alle apparecchiature elettroniche e al personale, ed è equipaggiato con un'antenna per connettività satellitare che assicura la comunicazione dati anche in zone prive di copertura di rete tradizionale. Internamente, il container è allestito per fungere da centro di controllo delle operazioni, ospitando le postazioni di comando, i sistemi di monitoraggio e telemetria del rover, nonché le strumentazioni necessarie alla gestione e coordinamento delle attività di test sul campo.



Figure 2-3 Container - laboratorio.

Per alimentarlo, un gruppo elettrogeno sarà posizionato a una distanza di circa 20 metri dal container al fine di minimizzare l'impatto acustico sugli operatori durante le attività operative. Il collegamento elettrico tra il generatore e il container sarà opportunamente segnalato, per garantire la sicurezza del personale e prevenire danneggiamenti accidentali al cavo di alimentazione. Si valuterà inoltre l'eventuale posa di pedane calpestabili a norma lungo l'intero tracciato del cavo elettrico, o in alternativa l'installazione di cartellonistica di sicurezza ripetuta a intervalli regolari lungo il percorso.



Figure 2-4 Vista del retro del container laboratorio. In basso si può notare il sistema di stoccaggio delle taniche.

Su una parete esterna del container-laboratorio sarà installato un sistema dedicato allo stoccaggio del carburante necessario per la sua alimentazione. Tale sistema è costituito da tre taniche omologate per benzina da 20 litri ciascuna (modello con certificazione UN per trasporto carburanti), per una capacità totale di 60 litri. Le taniche saranno posizionate all'interno di una vasca di ritenzione da 74 litri conforme alla normativa vigente in materia di stoccaggio carburanti, garantendo il contenimento di eventuali fuoriuscite accidentali. L'intero sistema di contenimento (vasca di ritenzione con taniche) sarà a sua volta alloggiato in un contenitore metallico zincato, stagno e sollevato da terra, che verrà fissato solidamente alla parete esterna del container marittimo mediante appositi sistemi di ancoraggio. Questa configurazione assicura la protezione dalle intemperie, previene il contatto diretto con il suolo e garantisce la conformità alle normative ambientali e di sicurezza applicabili all'interno del territorio del Parco Etna.

2.3.2 Rover ULS

Il sistema robotico oggetto dei test è il rover ULS, una piattaforma mobile progettata per simulare operazioni di esplorazione e lavoro in ambiente lunare. Il rover è dotato di quattro ruote metalliche rigide collegate allo chassis mediante gambe attuate da motori elettrici indipendenti. La caratteristica distintiva del sistema è la presenza di sospensioni attive che consentono di adattare dinamicamente l'altezza e l'orientamento dello chassis in funzione della conformazione del terreno e delle specifiche necessità operative. Grazie al controllo indipendente di ciascun motore, il rover dispone di elevate capacità di manovra, potendo eseguire rotazioni sul posto (point-turn), traslazioni laterali pure (crabbing) e manovre di tipo Ackermann e doppio Ackermann con diversi raggi di sterzata.

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

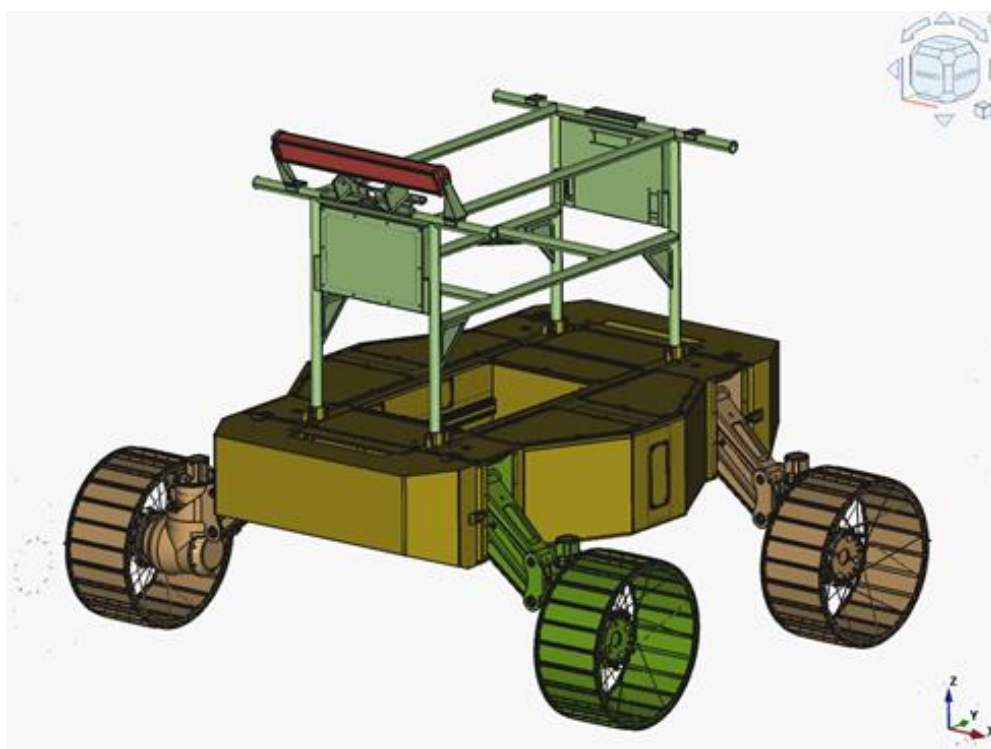


Figure 2-5 CAD del rover ULS estratto da FreeCAD.

Il rover ULS presenta dimensioni massime contenute (footprint di 1.80 m (L) × 1.80 m (P) × 1.50 m (H)) e una massa totale di circa 300 kg. L'alimentazione è garantita da batterie ricaricabili LiFePo4, soluzione che elimina la necessità di cavi in movimento durante i test. Le batterie vengono ricaricate dagli operatori mediante dispositivi certificati o, in modalità dimostrativa, tramite un sistema di docking autonomo integrato con la stazione di ricarica installata presso il container-laboratorio.

Il rover opera in due modalità distinte: teleoperata e autonoma. Nella modalità teleoperata, i movimenti sono comandati da operatori presenti sul sito mediante joystick, oppure da remoto tramite la stazione di controllo situata a Torino; in entrambi i casi, per ragioni di sicurezza, è garantita la supervisione visiva continua da parte del personale in loco. Nella modalità autonoma, l'operatore specifica un obiettivo finale che il rover raggiunge attraverso pianificazione di percorso effettuata dal software di bordo, evitando autonomamente ostacoli non traversabili quali rocce di grandi dimensioni o pendenze eccessive.

Per la navigazione autonoma, il sistema ULS è equipaggiato con una suite completa di sensori: stereo camere e sensori Time of Flight (**ToF**) per l'acquisizione di dati tridimensionali del terreno circostante, **GNSS** per la localizzazione geografica, Inertial Measurement Unit (**IMU**) per il rilevamento dell'assetto, encoder sui motori delle gambe per il monitoraggio della configurazione cinematica, e un illuminatore da 100W per operazioni in condizioni di scarsa luminosità o notturne.

Le emissioni acustiche del rover sono limitate e non significative, riconducibili esclusivamente all'attrito tra le ruote metalliche e il substrato lavico durante il movimento. Ciò è ulteriormente mitigato dalle velocità operative contenute: il rover si muove a una velocità media di 0.10 m/s (circa 0.36 km/h) con picchi massimi di 0.30 m/s (circa 1 km/h).

La piattaforma ULS è progettata per ospitare diversi payload dimostrativi, rappresentativi di casi d'uso rilevanti per applicazioni lunari:

- **Raccogliatore di regolite:** sistema a rullo rotante per la raccolta e il trasporto di materiale granulare (simulato dalle rocce vulcaniche etnee), dimostrativo delle capacità di movimentazione risorse per futuri insediamenti lunari;
- **Drone leggero con payload Artificial Intelligence (AI):** sistema aereo equipaggiato con camera, alloggiato in una stazione di ancoraggio sul rover, utilizzabile in assenza di vento per fornire visione dall'alto e supportare la pianificazione di percorso mediante identificazione di ostacoli non visibili dai sensori di bordo. I dati vengono trasmessi al rover via comunicazione wireless per l'aggiornamento della mappa ambientale;
- **Sistema di docking autonomo:** capacità di aggancio automatico alla stazione di ricarica per il ripristino dell'energia e l'eventuale scambio dati;
- **Sistema di stendimento cavi:** payload dedicato al posizionamento sotterraneo (profondità 2-3 cm) di cavo in fibra ottica di diametro 7.5 mm, mediante spostamento superficiale di materiale lavico. Al termine delle prove, i solchi verranno riempiti per ripristinare le condizioni originarie del sito;

Sistema di rilascio boe Ultra Wideband (UWB): capacità di deposizione controllata di piccole sfere di plastica (diametro circa 10 cm) contenenti dispositivi UWB per la localizzazione autonoma del rover. Le boe vengono appoggiate sul terreno senza alterazioni permanenti e recuperate al termine dei test senza lasciare tracce dell'intervento.

Nella tabella seguente, le informazioni del rover sono raccolte in maniera più concisa:

ULS	
Ruote	4 ruote rigide metalliche
Dimensioni massime	1.80 m (L) × 1.80 m (P) × 1.50 m (H)
Massa Totale	~ 300 Kg
Tipo di Alimentazione	2 × Batterie a LiFePo4
Rumorosità	Limitata
Velocità di movimento	Massima velocità: 0.30 m/s [~ 1 km/h] Velocità media: 0.10 m/s [~ 0.36 km/h]
Modalità di controllo	Teleoperata e autonoma con continua supervisione da parte di uno o più operatori.
Sensoristica	ToF, Stereo camera, GNSS, IMU, Motori elettrici, Encoder sui motori, illuminatore.

2-1 Tabella riassuntiva delle caratteristiche tecniche del rover ULS.

2.3.3 Drone

Il drone in oggetto è un sistema a pilotaggio remoto costituito da un telaio in fibra di carbonio per permettere leggerezza ed al contempo rigidità e robustezza. Si tratta di un quadricotore, con bracci orientati a X che sorreggono motori da 80W ciascuno. Le eliche sono in fibra di carbonio da 12" /15". Per assicurare un volo stabile, il sistema ha alcuni sensori per poter misurare in maniera precisa la distanza dal suolo, attraverso un laser altimetro con risoluzione millimetrica; un ricevitore Global Navigation Satellite System Real-Time Kinematic (**GNSS RTK**) per la localizzazione precisa di latitudine e longitudine, una unità di misura inerziale IMU con il compito di misurare l'assetto del velivolo e le velocità angolari sui 3 assi. Il peso al decollo è di circa 1.8 Kg. Il drone è alimentato da una batteria 4s ai polimeri di litio da 5000mAh. Tali dispositivi assicureranno brevi missioni di volo da 10 minuti circa. Nonostante il drone abbia la capacità di effettuare delle missioni automatizzate, come da normativa Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (**ENAC**), è prevista la presenza di un pilota umano in grado di assicurare la sicurezza del volo nel caso in cui uno o più apparati di bordo dovessero avere delle problematiche. È presente un sistema di comunicazione ridondato per poter comandare il drone sia dal rover attraverso un radiomodem gestito dagli operatori all'interno del container, sia un radiocomando per permettere al pilota di sostituirsi agli automatismi comandati dall'elettronica di bordo.

Il drone ospita a bordo il payload principale costituito da un computer embedded basato con sistema operativo linux ed una telecamera. Il compito di tale payload è l'acquisizione ed elaborazione di immagini durante la missione di volo. Il sistema a pilotaggio remoto risulta essere quindi un aiuto per il rover terrestre, in quanto rende possibile la visione da un punto di vista rialzato allargando l'orizzonte visivo del rover stesso.

Le brevi missioni di volo partiranno da una piattaforma orizzontale a base quadrata di 50 cm × 50 cm. Tale piattaforma trattiene il drone attraverso un meccanismo automatizzato costituito da servomotori lineari che, estendendosi e richiudendosi permettono il rilascio del drone in fase di decollo ed assicurano il bloccaggio subito dopo l'atterraggio. La piattaforma, dotata di elettronica digitale e di potenza, consente in primo luogo la ricarica delle batterie del drone ed in secondo luogo la comunicazione di tutti i messaggi necessari agli automatismi per la gestione del volo. La piattaforma di decollo è alimentata direttamente dalle batterie del rover attraverso appositi convertitori di tensione, non sono dunque necessari altri apparati di potenza per la ricarica tra una missione e l'altra.

2.4 Descrizione delle Attività

La campagna di test può essere suddivisa in cinque sottogruppi:

- Movimentazione ed installazione del laboratorio mobile (container 20 piedi) nella zona d'interesse
- Test di Teleoperazione e Navigazione Autonoma
- Test dei payload scientifici installati sul rover
- Rimozione e movimentazione del laboratorio dalla zona definita

In seguito, le attività sopraelencate verranno descritte dettagliatamente.

2.4.1 Movimentazione ed installazione del laboratorio mobile nella zona d'interesse

Le operazioni di trasporto dal Piano Provenzana al sito finale a quota 2800 metri sul versante nord dell'Etna richiedono competenze specialistiche, attrezzature fuoristrada di elevata capacità e un'attenta pianificazione delle sequenze operative. Una volta giunti a Piano Provenzana, punto terminale accessibile con mezzi stradali convenzionali situato a circa 1800 metri di altitudine, si procederà innanzitutto con le operazioni di trasbordo dell'attrezzatura e delle piastre dal trailer stradale alla motrice fuoristrada 8×6, appositamente dimensionata per affrontare i terreni accidentati e le pendenze significative. Oltre a questa, sarà presente una motrice di traino o veicolo simile utilizzato per supportare le operazioni, verrà impiegata a supporto. La fase preliminare richiede particolare attenzione nella disposizione e nel fissaggio del carico nella motrice fuoristrada 8×6, garantendo che piastre e attrezzature siano adeguatamente vincolate per resistere alle sollecitazioni meccaniche durante la salita.

Completato il trasbordo dell'attrezzatura, la motrice fuoristrada 8×6 e la seconda motrice inizieranno la prima salita verso il sito a quota 2800 metri. Durante questa ascensione l'equipaggio dovrà monitorare costantemente la stabilità del carico e la progressione lungo il percorso prestabilito. Una volta raggiunto il sito di destinazione,

l'equipaggio procederà allo scarico dell'attrezzatura e delle piastre, posizionandole secondo le indicazioni tecniche necessarie per le successive fasi operative, e quindi inizierà la discesa verso Piano Provenzana per la seconda rotazione.

Una volta che entrambi i mezzi saranno rientrati al campo base di Piano Provenzana, si procederà con la seconda fase delle operazioni: il trasbordo del container dal trailer stradale alla motrice fuoristrada 8x6. Questa operazione richiede l'utilizzo di sistemi di sollevamento e movimentazione adeguati, quali gru montata su automezzo, e competenze specialistiche per garantire che il container venga trasferito correttamente sul veicolo e ancorato mediante fasce a cricco – di tenuta più che adeguata – sul cassone dell'automezzo.

Al termine delle attività di trasferimento, i mezzi intraprenderanno la seconda salita verso il sito a quota 2800 metri. Questa fase rappresenta il culmine dell'intera operazione logistica: il container, che ospita il robot e le relative apparecchiature tecnologiche, verrà trasportato con cautela, evitando per quanto possibile urti e vibrazioni. La progressione avverrà a velocità molto ridotta. Al termine della salita, arrivati in zona di scarico, si procederà con le operazioni di: slegatura, disancoraggio, sollevamento container e posizionamento nell'area predisposta. Il container-laboratorio verrà posizionato sulle piastre mediante l'utilizzo della gru presente sull'automezzo per garantire che venga depositato nella posizione esatta prevista dal progetto, orientato correttamente e, se ritenuto necessario, ancorato al terreno. Il completamento dello scarico del container a quota 2800 metri segnerà il termine della prima fase delle operazioni, consentendo l'avvio delle successive fasi di installazione, commissioning e messa in servizio del sistema robotico.

Tutte le operazioni saranno eseguite da personale altamente specializzato.

2.4.2 Test di Teleoperazione e Navigazione Autonoma

Le attività di test presso il sito selezionato del Parco Etna si articoleranno in una serie di operazioni progressive volte a validare le capacità di teleoperazione e navigazione autonoma del rover ULS in condizioni rappresentative dell'ambiente lunare.

2.4.2.1 Operazioni di Teleoperazione Base

Le operazioni iniziali si concentreranno sulla validazione del controllo remoto del veicolo attraverso interfaccia joystick. Il rover verrà comandato dalla stazione di controllo locale situata nel container-laboratorio, con gli operatori che eseguiranno manovre di base su terreno pianeggiante per verificare la responsività dei comandi e la stabilità del collegamento wireless. Queste operazioni includeranno:

- **Movimenti lineari:** avanzamento e retromarcia a velocità controllata per verificare la risposta dei motori di trazione e la stabilità del telaio
- **Manovre di sterzo:** esecuzione di curve con diversi raggi per testare gli attuatori di sterzo e le diverse modalità di locomozione (Ackermann doppio, crabbing, point turn)
- **Variazioni di velocità:** accelerazioni e decelerazioni graduate per valutare la dinamica del veicolo e il comportamento delle sospensioni attive

2.4.2.2 Operazioni con Ritardo di Comunicazione Simulato

Una volta stabilita la baseline operativa, verranno introdotti artificialmente ritardi di comunicazione progressivi (da 0 a 5 secondi) attraverso il ground segment per simulare le condizioni reali di comunicazione Terra-Luna. Gli operatori dovranno adattare la strategia di guida adottando un approccio "stop-and-go", dove:

- Il rover viene comandato per brevi tratti
- Si attende la ricezione del feedback visivo e telemetrico
- Si valuta la situazione prima di impartire il comando successivo
- Si documenta l'impatto del ritardo sulla velocità operativa effettiva e sulla difficoltà di controllo

Queste operazioni permetteranno di quantificare l'efficienza operativa in funzione del ritardo di comunicazione e di definire le strategie ottimali per la conduzione in presenza di latenza.

2.4.2.3 Operazioni di Transizione alla Navigazione Autonoma

Il passaggio dalla teleoperazione alla navigazione autonoma rappresenta una fase critica delle operazioni. Il rover verrà posizionato in una configurazione nota attraverso teleoperazione, quindi gli verrà fornito un waypoint target. Le operazioni includeranno:

- **Acquisizione della posizione iniziale:** mediante correlazione di immagini ad alta risoluzione del lander con imagery satellitare, simulando la procedura di inizializzazione post-atterraggio
- **Definizione del percorso:** caricamento di coordinate del waypoint target tramite MCC
- **Attivazione dell'AutoNav:** passaggio del controllo dal sistema di teleoperazione al sistema di navigazione autonoma
- **Monitoraggio della progressione:** supervisione del rover durante il tragitto autonomo con possibilità di override manuale in caso di necessità

2.4.2.4 Operazioni di Navigazione Autonoma in Terreno Complesso

Le operazioni di navigazione autonoma verranno condotte su percorsi di complessità crescente all'interno del sito di Piano delle Concazze, caratterizzato da:

- **Terreno irregolare:** superfici con pendenze variabili fino a 20° e presenza di rocce vulcaniche di diverse dimensioni
- **Ostacoli naturali:** rocce emergenti, depressioni e variazioni morfologiche tipiche dell'ambiente vulcanico
- **Condizioni di illuminazione variabili:** test sia in condizioni di pieno sole che con ombre marcate per validare i sistemi di percezione

Durante queste operazioni, il sistema AutoNav dovrà:

- Generare mappe locali in tempo reale utilizzando i sensori stereoscopici
- Classificare il terreno in termini di attraversabilità
- Pianificare traiettorie ottimali evitando ostacoli non superabili
- Selezionare autonomamente la modalità di locomozione più appropriata
- Mantenere l'orientamento preferenziale (se specificato) durante il tragitto

2.4.2.5 Operazioni di Gestione Anomalie

Tutte le sessioni di test includeranno procedure per la gestione di situazioni anomale:

- **Perdita di comunicazione:** il sistema deve arrestarsi automaticamente e attendere il ripristino del collegamento
- **Impossibilità di progressione:** quando l'AutoNav non identifica percorsi feasibili, deve segnalare la condizione e richiedere intervento manuale
- **Override di emergenza:** gli operatori devono poter prendere il controllo manuale in qualsiasi momento, con disattivazione temporanea del ritardo simulato per situazioni critiche
- **Monitoraggio continuo dello stato di carica:** con procedure di rientro quando la batteria raggiunge soglie predefinite

2.4.2.6 Documentazione e Acquisizione Dati

Durante tutte le operazioni verranno acquisiti in modo sistematico:

- Telemetria completa di tutti i sottosistemi (posizione, velocità, correnti motori, stato sospensioni, ecc.)
- Stream video dalle camere di navigazione e di contesto

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

- Dati di ground truth dalla strumentazione GNSS RTK
- Log completi dei messaggi ROS2 per analisi post-test
- Documentazione fotografica e video dell'ambiente operativo

Questa strategia operativa progressiva permetterà di validare in modo sistematico tutte le funzionalità del sistema ULS, dalle capacità di base di teleoperazione fino alle complesse operazioni di navigazione autonoma in ambiente non strutturato, fornendo i dati necessari per la caratterizzazione delle prestazioni e l'identificazione di eventuali aree di miglioramento.

Al termine di ciascun test, gli operatori si impegnano a verificare che l'area interessata venga completamente ripristinata alle condizioni originarie, assicurando che il terreno e gli elementi naturali non subiscano alterazioni permanenti e che tutti gli oggetti o materiali temporaneamente introdotti vengano rimossi.

2.4.3 Test dei Payload Scientifici installati sul rover

Le attività di validazione dei payload presso il sito analogue del Parco Etna si articoleranno in una serie di operazioni dimostrative che simulano gli scenari applicativi identificati nelle missioni lunari di riferimento. Ciascun payload sarà testato sia in configurazione stand-alone che in scenari integrati che richiedono la coordinazione di più sistemi.

2.4.3.1 Operazioni con Cable Laying Payload

Le operazioni di dispiegamento cavi simuleranno l'installazione di connessioni elettriche tra asset di superficie, come la connessione tra un campo solare remoto e un'area abitativa.

Il payload verrà montato sul rover con la bobina caricata con almeno 20 metri di cavo bipolare. Gli operatori verificheranno l'integrità del sistema di trenching, del meccanismo di tensionamento e dei sensori di telemetria prima dell'inizio delle operazioni. Il rover verrà posizionato presso un punto di partenza designato (simulando la stazione di ricarica o il campo abitativo). Un operatore collegherà manualmente un'estremità del cavo a un mockup di interfaccia elettrica. Il rover procederà quindi lungo un percorso prestabilito a velocità ridotta (3 cm/s) mentre il payload:

- Attiva il meccanismo di scavo per creare una trincea di profondità minima 3 cm e massima 6 cm
- Dispensa il cavo mantenendo tensione controllata per evitare attorcigliamenti
- Ricopre progressivamente il cavo con il materiale scavato
- Monitora continuamente la lunghezza di cavo dispiegata e quella residua sulla bobina

Il percorso includerà segmenti in salita (fino a 10°) e discesa (fino a 20°) per validare il funzionamento del sistema di tensionamento in condizioni gravitative variabili. Verranno inoltre eseguite curve con raggio minimo di 3 metri per verificare che il cavo non subisca sollecitazioni eccessive durante le manovre.

Al termine del dispiegamento, l'intero cavo verrà rimosso in modo da riportare il terreno alle condizioni iniziali.

2.4.3.2 Operazioni con Regolith Collector Payload

Le operazioni di raccolta regolite simuleranno un ciclo completo di estrazione mineraria per applicazioni In-Situ Resource Utilization (ISRU).

Il rover verrà equipaggiato con Regolith Collector, uno o più rulli rotanti atti a raccogliere regolite (simulata dalle rocce vulcaniche presenti sul Monte Etna) per poterla trasportare e spostare in un'altra area limitrofa. Il rover equipaggiato con Regolith Collector verrà posizionato nell'area di scavo designata. Le operazioni includeranno:

- Abbassamento del telaio mediante sospensioni attive per ottimizzare l'angolo di attacco dello scavatore
- Possibile cambio di modalità di locomozione per massimizzare la trazione durante lo scavo

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

- Avanzamento lento (3 cm/s) con attivazione del sistema di raccolta che penetra fino a 3 cm di profondità
- Monitoraggio continuo del volume raccolto mediante sistema di pesatura integrato
- Rilevamento automatico di ostacoli inamovibili (rocce oltre le capacità del sistema) con arresto delle operazioni

Una volta riempito il contenitore, il rover procederà autonomamente lungo il percorso preparato verso l'area di deposito. Durante il trasporto su pendenze, il sistema di controllo attivo attuerà le sospensioni attive per mantenere il carico livellato e prevenire perdite di materiale. Presso l'area di deposito (simulando l'ingresso dell'impianto ISRU), il payload attiverà il sistema di ribaltamento/espulsione per svuotare completamente il contenitore.

Verranno eseguiti cicli ripetuti di scavo-trasporto-scarico per validare:

- La consistenza delle prestazioni nel tempo
- L'assenza di intasamenti o accumuli di materiale nel sistema
- L'efficienza energetica dell'operazione ciclica
- La capacità di operare continuativamente per la durata prevista (4 ore con singola carica)

Al raggiungimento della soglia di batteria bassa, il rover interromperà autonomamente le operazioni di scavo e navigherà verso il punto di ricarica per simulare il docking e la ricarica.

2.4.3.3 Operazioni con Beacon Deploy Payload

Le operazioni di dispiegamento beacon costruiranno progressivamente un'infrastruttura di localizzazione distribuita sul sito di test.

Il rover, equipaggiato con il dispenser contenente 6 beacon, eseguirà una missione di esplorazione con tappe predefinite. Ad ogni waypoint:

- Il rover si arresta completamente (condizione verificata dal sistema)
- Il payload abbassa un beacon sulla superficie
- Il beacon viene attivato e inizia a trasmettere
- Il rover aggiorna la propria mappa con la posizione del nuovo riferimento

Dopo il dispiegamento di almeno 3 beacon, il rover eseguirà traiettorie che attraversano l'area coperta per validare:

- Il miglioramento dell'accuratezza di localizzazione rispetto alla sola odometria visuale
- La capacità di triangolazione mediante beacon multipli
- Il range operativo effettivo di ciascun beacon (target minimo 20 m in line-of-sight)
- La gestione automatica del handover tra beacon quando il rover si muove nell'area coperta

Verranno eseguiti percorsi che includono:

- Passaggi dietro rocce o rilievi che oscurano parzialmente la visibilità di alcuni beacon
- Attraversamento di aree ai limiti del range di copertura per caratterizzare il degrado del segnale
- Variazioni di quota per valutare l'impatto sull'accuratezza di localizzazione

I waypoint successivi verranno raggiunti mediante navigazione autonoma, utilizzando i beacon precedentemente dispiegati come riferimenti complementari ai sistemi di odometria visuale e inerziale. Questo dimostrerà la capacità del sistema di sfruttare l'infrastruttura distribuita per migliorare robustezza e accuratezza.

2.4.3.4 Operazioni con Rover Docking System

Le operazioni di docking simuleranno la ricarica automatica del rover presso una stazione di servizio.

Da una distanza iniziale di circa 50 metri, il rover navigherà autonomamente verso la stazione di docking (interfaccia meccanica fissa installata presso il container di controllo). Il sistema utilizzerà inizialmente i beacon dispiegati o GNSS RTK per l'avvicinamento grossolano. A distanza ridotta (circa 2-3 metri), il Docking System attiverà i propri sensori dedicati per:

- Rilevare la presenza e posizione dell'interfaccia di docking target
- Calcolare l'errore di posizionamento (offset laterale, distanza, rotazione)
- Comandare al sistema di navigazione del rover micro-aggiustamenti progressivi

Una volta raggiunta la posizione di pre-docking (entro le tolleranze: 10 cm offset, 15 cm distanza, 5° rotazione), il payload:

- Assume il controllo esclusivo degli attuatori necessari (operazione mutually-exclusive con la navigazione)
- Attiva il meccanismo di compensazione per assorbire i misalignment residui
- Esegue l'avvicinamento finale fino al contatto meccanico
- Verifica l'aggancio strutturale
- Stabilisce il contatto elettrico per la ricarica

Durante la ricarica simulata (della durata di alcuni minuti per i test), il sistema monitorerà:

- Il corretto trasferimento di potenza (target fino a 10A @ 60V)
- La stabilità dell'aggancio meccanico
- Lo scambio di dati diagnostici attraverso l'interfaccia

Al completamento della ricarica (o su comando manuale), il sistema eseguirà:

- Interruzione controllata del flusso di potenza
- Disimpegno dei connettori elettrici
- Rilascio dell'aggancio meccanico
- Allontanamento controllato del rover dall'interfaccia
- Restituzione del controllo completo al sistema di navigazione

Verranno eseguite multiple iterazioni di docking partendo da posizioni e orientamenti iniziali diversificati per caratterizzare:

- L'involuppo di condizioni iniziali gestibili automaticamente
- I casi limite che richiedono re-tentativi
- L'affidabilità del sistema su cicli ripetuti

Verrà simulata un'interruzione della sequenza di docking in diverse fasi per verificare che il sistema sia sempre in grado di:

- Rilevare comandi di abort
- Interrompere in sicurezza le operazioni in corso
- Riportare il rover in una configurazione stabile e sicura

2.4.3.5 Operazioni Integrate con Sistema Drone

Le operazioni con il sistema drone integreranno acquisizione aerea, elaborazione edge AI e coordinazione rover-drone.

Con il drone alloggiato sulla Docking Base montata sul rover, verranno eseguiti:

- Verifiche di connettività seriale wireless tra drone e base

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

- Validazione della ricezione GNSS RTK da parte del drone
- Test di comunicazione tra drone payload (Edge AI) e On-Board Computer (OBC) del rover tramite inoltro attraverso la base
- Verifica dello stato di carica delle batterie del drone

Il rover si posizionerà in area aperta e pianeggiante. Su comando:

- La Docking Base inizializza la sequenza di undocking
- Il rover conferma la propria immobilità (tutti i motori disabilitati)
- Il drone esegue il decollo verticale e si porta a quota di sicurezza
- La Base conferma il decollo avvenuto e libera il rover per movimenti

Il drone eseguirà pattern di volo pre-programmati che includono:

- **Hovering su punto:** mantenimento di posizione stazionaria a quota definita per acquisire immagini dettagliate di features specifiche (simulando l'analisi ravvicinata di un campione interessante o di una roccia particolare)
- **Circumnavigazione:** volo circolare attorno a un punto di interesse mantenendo orientamento della camera sempre verso il centro (simulando la documentazione completa di un lander o di una caratteristica geologica)
- **Grid survey:** copertura sistematica di un'area rettangolare mediante passaggi paralleli con overlap adeguato per la ricostruzione fotogrammetrica

Durante l'acquisizione, il payload Edge AI:

- Processa in tempo reale le immagini acquisite
- Esegue segmentazione semantica del terreno identificando: rocce di diverse dimensioni, beacon UWB dispiegati, il rover stesso, container-laboratorio
- Genera una mappa preliminare georeferenziata con classificazione delle aree
- Identifica potenziali ostacoli o zone di interesse per il percorso del rover
- Fornisce confidence score per ciascuna classificazione

Al completamento della survey:

- Il drone riceve le coordinate GNSS della posizione attuale del rover (che potrebbe essersi spostato durante la missione)
- Esegue navigazione autonoma verso la Docking Base
- Allinea la propria traiettoria per l'approccio finale
- Atterra sulla base con guida visuale o sensori dedicati
- La Base conferma il docking e inizia la ricarica

Una volta riatterrato sul rover e bloccato saldamente:

- I dati della survey (immagini raw, mappa classificata, metadata) vengono trasferiti all'OBC del rover
- Il sistema di navigazione del rover elabora la mappa per aggiornare la conoscenza dell'ambiente
- L'AutoNav può utilizzare le informazioni per ottimizzare la pianificazione di percorsi futuri
- I dati vengono anche trasmessi per visualizzazione e archiviazione

Verrà testata la gestione di perdita di comunicazione durante il volo:

- Interruzione artificiale del link rover-drone
- Il drone deve eseguire autonomamente la procedura di auto-landing in posizione sicura
- Ripristino della comunicazione e recovery del drone

In uno scenario avanzato:

- Il drone esegue una survey preliminare di un'area sconosciuta
- I dati vengono trasferiti al rover
- L'AutoNav utilizza la mappa aerea per pianificare un percorso ottimale
- Il rover esegue la navigazione autonoma nell'area precedentemente mappata
- Il drone può eseguire una seconda survey "follow-up" per documentare le modifiche apportate dal passaggio del rover (impronte, regolite disturbata)

Va sottolineato che tutte le operazioni del drone verranno svolte in modalità Visual Line of Sight (**VLOS**), mantenendo costantemente il contatto visivo diretto con il robot, e nel pieno rispetto delle normative ENAC vigenti e dei regolamenti specifici del Parco Etna. Le certificazioni dei piloti del drone sono allegate al presente documento e riportate al capitolo 1.3.

2.4.3.6 Operazioni di Dimostrazione Multi-Payload

Alcuni test integreranno sequenze operative che richiedono l'utilizzo coordinato di più payload, simulando scenari realistici di missione.

Scenario "Scientific Exploration":

1. Drone survey preliminare di area sconosciuta
2. Identificazione via Edge AI di una roccia di interesse
3. Navigazione autonoma del rover verso il target
4. Approccio fine con teleoperazione per posizionamento ottimale
5. Dispiegamento beacon per marking della posizione
6. Acquisizione imagery ravvicinata (documenting the find)

Scenario "Mining Setup":

1. Drone survey per identificazione area ricca di regolite fine
2. Rover con payload di compattazione prepara percorso di servizio
3. Dispiegamento beacon lungo il percorso preparato
4. Swap payload: installazione Regolith Collector
5. Cicli di scavo-trasporto utilizzando i beacon per navigazione precisa

Scenario "Infrastructure Deploy":

1. Survey aerea per ottimizzazione routing del cavo
2. Posizionamento beacon per garantire precisione lungo il tracciato
3. Teleoperazione del rover con Cable Layer lungo percorso definito
4. Validazione dell'installazione mediante seconda survey aerea

2.4.3.7 Documentazione e Acquisizione Dati

Durante tutte le operazioni con payload verranno sistematicamente acquisiti:

- **Telemetria payload-specific:** stati operativi, sensori integrati (tensione cavo, volume regolite, posizione beacon, stato docking, parametri volo drone)
- **Consumo energetico:** profili di corrente per ciascun payload durante le diverse fasi operative
- **Performance metrics:** tempi di completamento operazioni, precisione di posizionamento/dispiegamento, efficienza di raccolta
- **Dati di posizione:** correlazione tra posizione stimata dal rover e ground truth GNSS per validare accuratezza operativa

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

- **Imagery:** documentazione fotografica/video di tutte le fasi operative, incluse riprese aeree e da telecamere di bordo
- **Output dei payload:** mappe generate dall'Edge AI, log di localizzazione dai beacon, dati di telemetria durante docking

Questa strategia di test progressiva e integrata permetterà di validare non solo le funzionalità individuali di ciascun payload, ma soprattutto la capacità del sistema ULS di operare come piattaforma flessibile e riutilizzabile per missioni di natura diversa, dimostrando concretamente il paradigma del "utility rover" multi-purpose per l'esplorazione e l'utilizzo delle risorse lunari.

Al termine di ciascun test, gli operatori si impegnano a verificare che l'area interessata venga completamente ripristinata alle condizioni originarie, assicurando che il terreno e gli elementi naturali non subiscano alterazioni permanenti e che tutti gli oggetti o materiali temporaneamente introdotti vengano rimossi.

2.4.4 Rimozione e movimentazione del laboratorio dalla zona definita

Al termine del periodo operativo previsto per il sistema robotico presso il sito a quota 2800 metri si procederà con le operazioni di rimozione e movimentazione del laboratorio dalla zona delle attività appena terminate, un processo che rappresenta sostanzialmente l'inversione delle attività di installazione. La fase preliminare richiederà un'accurata preparazione del sito che comprende la messa in sicurezza di tutte le apparecchiature presenti all'interno del container-laboratorio, lo spegnimento controllato dei sistemi elettronici e informatici secondo procedure tecniche specifiche per preservare l'integrità dei dati raccolti e delle calibrazioni effettuate, la disconnessione di antenne di comunicazione e altre infrastrutture ausiliarie, e l'inventario completo di tutto il materiale e delle attrezzature che dovranno essere trasferiti a valle.

Una volta completata la preparazione del materiale, verrà attivata la richiesta di intervento per la motrice fuoristrada 8x6 e la seconda motrice, che partiranno da Piano Provenzana per salire verso il sito a quota 2800 metri. Giunti al sito, utilizzando la gru installata sulla motrice il container verrà sollevato dalle piastre di fondazione e posizionato sul cassone motrice. Il carico verrà inoltre ispezionato da diverse angolazioni per identificare eventuali asimmetrie o punti deboli nel sistema di ancoraggio. Con il container saldamente fissato, la motrice fuoristrada inizierà la discesa da quota 2800 metri verso Piano Provenzana, procedendo a velocità ridotta.

Una volta raggiunto questo punto intermedio, si procederà con il trasbordo del container dalla motrice fuoristrada 8x6 al trailer stradale, operazione che richiederà nuovamente l'impiego di sistemi di sollevamento. Il container verrà quindi fissato al trailer secondo le normative del codice della strada per il trasporto su strade pubbliche, con sistemi di ancoraggio conformi alle normative vigenti e verifiche documentate della corretta esecuzione di tutte le operazioni.

La fase successiva riguarda la rimozione di tutte le attrezzature esterne, comprese le piastre di fondazione che avevano garantito la stabilità del container, gli eventuali sistemi di ancoraggio, eventuali tettoie di protezione o strutture accessorie, cavi, collegamenti e tutto il materiale che non è parte integrante del container. Dopo il rientro della motrice fuoristrada a Piano Provenzana e la sua preparazione per la seconda salita, il veicolo ripartirà verso quota 2800 metri. Giunti al sito, il personale tecnico procederà con un'ultima verifica della corretta rimozione di ogni elemento. Questa fase assicurerà che nessun componente, strumento o materiale venga dimenticato in quota, sia per motivi di costo e valore delle apparecchiature, sia per ragioni ambientali legate alla necessità di lasciare il sito in condizioni pristine conformemente alle normative di tutela del Parco dell'Etna. Le operazioni di carico a quota 2800 metri saranno eseguite bilanciando adeguatamente i pesi sul cassone del veicolo per mantenere la stabilità durante la discesa.

Completato il carico dell'attrezzatura, la motrice fuoristrada inizierà la discesa verso Piano Provenzana. Una volta raggiunto Piano Provenzana, la motrice procederà allo scarico dell'attrezzatura e delle piastre, riposizionandole sul trailer stradale per il successivo trasferimento verso Catania.

A questo punto, tutti i materiali, le attrezzature e il container-laboratorio saranno pronti per essere trasferiti da Piano Provenzana verso Catania, seguendo il percorso inverso rispetto a quello utilizzato durante la fase di installazione. L'intera operazione di rimozione si concluderà con un sopralluogo finale del sito a quota 2800 metri

per verificare che non siano stati lasciati materiali, rifiuti o tracce dell'installazione, garantendo il pieno rispetto dei principi di tutela ambientale e delle disposizioni del Parco dell'Etna, e documentando fotograficamente lo stato dei luoghi per eventuali necessità amministrative o di rendicontazione del progetto.

Tutte le operazioni saranno eseguite da personale altamente specializzato.

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

END OF DOCUMENT

THALES ALENIA SPACE LIMITED DISTRIBUTION

This document is not to be reproduced, modified, adapted, published, translated in any material form in whole or in part nor disclosed to any third party without the prior written permission of THALES ALENIA SPACE.

© 2026 THALES ALENIA SPACE All rights reserved

Template : 83231532-CFG-TAS-EN/001