

BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea
22-23 giugno 2013

ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA
STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

ESA CAVES: un programma di monitoraggio sotterraneo sviluppato per l'addestramento di astronauti

LOREDANA BESSONE ⁽¹⁾, ANTONIO COSSU ⁽²⁾, JO DE WAELE ⁽³⁾, PAOLO MARCIA ⁽⁴⁾, LAURA SANNA ⁽⁵⁾,
FRANCESCO SAURO ⁽³⁾, STEFANO TAITI ⁽⁶⁾

RIASSUNTO

In un futuro molto prossimo le varie agenzie spaziali potrebbero mandare degli astronauti ad esplorare alcuni dei corpi celesti più vicini a noi: Luna, Marte o Asteroidi. Per addestrarsi a queste missioni complesse o di lunga durata nello spazio, gli astronauti devono essere pronti ad operare in squadre multifunzionali in condizioni estreme e in missioni operative a carattere multidisciplinare e internazionale. Questo tipo di addestramento richiede luoghi confinati, estremi, ambienti della Terra il più possibile simili allo spazio, come moduli costruiti sul fondo del mare, basi in Antartide e zone desertiche. Una delle condizioni terrestri più analoghe ad un ambiente planetario come quello di Marte è senza dubbio la grotta: buio, temperatura costante, visione limitata, ostacoli fisici, regole ferree per la sicurezza, isolamento, perdita di percezione temporale, difficoltà di approvvigionamento, necessità di lavorare in gruppo. Se poi aggiungiamo l'esplorazione, la documentazione (rilievi e fotografie), esperimenti e campionamenti scientifici, le somiglianze tra una spedizione sotterranea e una spaziale diventano particolarmente elevate.

Nell'ambito di CAVES, un corso di addestramento organizzato dal 2008 dall'Agenzia Spaziale Europea, gli astronauti sono inseriti in un vero e proprio programma di monitoraggio ambientale in grotta. Si tratta di analisi chimiche delle acque, analisi mineralogiche e sedimentologiche, un monitoraggio continuo della temperatura dell'aria, dell'umidità relativa e dei flussi d'aria, campionamenti microbiologici (aria, acqua e terreno) e biologici di artropodi specializzati, a cui quest'anno verranno aggiunti monitoraggi della radioattività e del radon, dello stillicidio e dell'anidride carbonica. Nel cuore del Supramonte (Sardegna centro-orientale) queste ricerche scientifiche stanno pian piano dando i loro primi risultati di rilievo che



Fig. 1 – Esplorazione di Marte - impressione artistica (ESA) e Progressione in grotta (ESA-V. Crobu)

verranno qui riassunti.

KEY WORDS: *ESA CAVES, esplorazione spaziale, addestramento astronauti, analogo terrestre.*

INTRODUZIONE

I voli spaziali sono caratterizzati da estremi ambientali che sono causa di stress fisico e fisiologico, e le spedizioni di lunga durata nello spazio sono causa di ulteriori categorie di stress che hanno un notevole impatto sulle capacità e sul benessere degli astronauti (MORPHEW, 2001).

Per prepararsi all'esplorazione planetaria ed a voli di lunga durata nello spazio gli equipaggi di una missione dovrebbero spendere tempo insieme in ambienti operativi simili (RAYMOND, 2011).

La necessità di identificare ambienti analoghi per preparare equipaggi spaziali ad operare in ambienti

¹⁾ Directorate of Human Space Flight and Operations, European Space Agency, Linder Höhe, 51147 Köln, Germania

²⁾ Società Speleologica Italiana, Via Zamboni 67, 40126 Bologna, Italia

³⁾ Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali, Università di Bologna, Via Zamboni 67, 40126 Bologna, Italia

⁴⁾ Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, sezione Zoologia, Università di Sassari, Via Muroni 25, 07100 Sassari, Italia

⁵⁾ CNR, Istituto di Biometeorologia, CNR-IBIMET, Traversa La Crucca 3, Località Balduca - Li Punti, 07100 Sassari, Italia

⁶⁾ Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Firenze, Italia

extraterrestri nasce dagli straordinari livelli di sicurezza e dagli obiettivi molto ambiziosi di tali missioni (BISHOP, 2011).

Le agenzie spaziali internazionali devono dunque individuare ambienti analoghi e metodi di addestramento che permettano di replicare con buona approssimazione le condizioni operative e di stress ai quali gli astronauti sono sottoposti.

L'ambiente è comunque un "contenitore", le analogie devono essere create anche sulla base di similitudini nelle esperienze e nelle operazioni (BISHOP, 2011).

Uno studio effettuato sui diari degli astronauti dell'International Space Station (ISS) ha individuato dieci categorie di fattori che contribuiscono ad influenzare le prestazioni e ad alterare il benessere degli equipaggi (SLUSTER, 2010).

Le agenzie coinvolte nella concezione e nelle operazioni della ISS hanno definito le competenze comportamentali richieste ad astronauti che affrontino spedizioni scientifiche nello spazio, al fine di assicurare l'esecuzione efficiente degli obiettivi di missione, e di preservare la sicurezza e il benessere dell'equipaggio (BESSONE *et alii*, 2008). Le stesse agenzie hanno definito dei percorsi addestrativi e delle metodiche che facilitino l'acquisizione di tali competenze.

IL CORSO CAVES

CAVES (Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and performance Skills) è un corso creato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per preparare astronauti e cosmonauti di provenienze e culture diverse ad operare in modo efficace e sicuro in ambienti operativi critici. Il corso si svolge in ambiente ipogeo. Le grotte sono ambienti ostili e pericolosi, che richiedono l'acquisizione di tecniche di progressione e l'applicazione di stretti protocolli di sicurezza. L'ambiente ipogeo altera e riduce gli stimoli sensoriali, richiede adattamento e continua attenzione.

CAVES si svolge in tre fasi, molto simili alle fasi di preparazione ed esecuzione di missioni spaziali internazionali.



Fig. 2 – Verifica delle procedure (ESA - V. Crobu)



Fig. 3 – Stesura del rapporto scientifico (ESA - V. Crobu)

Durante la prima fase i partecipanti vengono istruiti all'uso di tecniche di progressione, esplorazione ed orientamento in grotta, apprendono le basi del monitoraggio di ambienti carsici e si familiarizzano con il programma e la strumentazione scientifica, di rilievo e di documentazione fotografica.

Questa fase è propedeutica alla spedizione esplorativa vera e propria, durante la quale i cavernauti lavorano in autonomia, ma sotto l'attenta supervisione di personale tecnico qualificato. È durante questa fase che gli astronauti conducono il programma di monitoraggio scientifico, secondo un'agenda e procedure operative preparate su modelli spaziali, e comunicando due volte al giorno con un responsabile "a terra".

Al ritorno dalla spedizione e campo interno, della durata di sei giorni, i partecipanti redigono con gli scienziati un rapporto scientifico e trasferiscono i dati raccolti per la successiva analisi.

Parte integrante del corso è l'utilizzo di metodi e tecniche di interazione che permettono l'affinamento dei modelli di comportamento che definiscono il successo e la sicurezza, oltre che il benessere dell'equipaggio. A questo fine gli astronauti sono seguiti da un osservatore che facilita la discussione e l'apprendimento dagli errori commessi e dai successi ottenuti.

Per ottenere risultati relativi alle dinamiche di gruppo è necessario che il corso sia fondato su una trama di autenticità ed è quindi fondamentale che vengano mantenuti la percezione del rischio, le difficoltà di progressione, la complessità operativa e la genuinità del programma scientifico e dei test tecnici.

L'ADDESTRAMENTO TECNICO

Nel corso ESA CAVES gli astronauti vengono addestrati all'utilizzo delle normali tecniche di progressione speleologica in uso in Europa (MARBACH & ROCOURT, 1980). Nella grotta è necessario scendere e risalire alcuni brevi pozzi ma soprattutto sapersi muovere su lunghi traversi. Il più lungo di questi passaggi costituisce una vera e propria via ferrata, dove vengono utilizzate normali tecniche



Fig. 4 – Tecniche di progressione (ESA - V. Crobu)

alpinistiche con doppia longe. Queste operazioni vengono insegnate ispirandosi ai protocolli di sicurezza utilizzati dagli astronauti durante le loro attività extraveicolari (“EVA”, le cosiddette camminate spaziali). Le similitudini tra queste operazioni e la progressione speleologica sono notevoli: la visibilità è limitata dal raggio d’azione della luce frontale, con la presenza di zone d’ombra, la progressione avviene in tre dimensioni seguendo dei percorsi obbligati, la percezione di ostacoli e distanze risulta confusa, ed esistono zone vietate (p.e. aree con concrezioni delicate nel caso della grotta, aree attraversate da antenne, motori di propulsione o strumentazione scientifica nel caso della stazione spaziale).

Ma oltre all’analogia con lo spazio questo addestramento è indispensabile per consentire agli astronauti di poter esplorare la grotta in piena sicurezza. Durante l’esplorazione, il rilievo e la documentazione fotografica della grotta è necessario lavorare in squadre dove ognuno riveste responsabilità differenti, ma con l’obiettivo della “sicurezza” al primo posto. Tutte le operazioni degli astronauti in grotta sono seguite con attenzione da personale speleologico tecnico (istruttori di speleologia della SNS CAI e della scuola della SSI), tuttavia essi non intervengono mai nelle decisioni prese dagli astronauti tranne che in caso di possibile pericolo. Per questo la verifica delle attrezzature personali e di gruppo sono

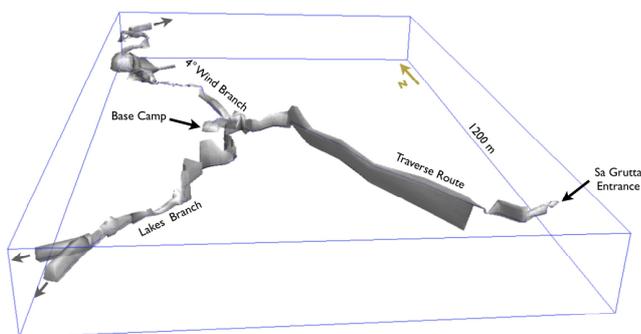


Fig. 5 – Sa Grutta - rilievo in Compass (ESA)

affidate al controllo reciproco tra i partecipanti (*buddy*

system), un sistema di controllo utilizzato anche per le immersioni subacquee e per le attività extraveicolari.

LE OPERAZIONI DI RILIEVO

Il lavoro di topografia in grotta si è basato sulle normali tecniche di rilievo speleologico, utilizzando un distanziometro laser Leica DistoX, una bussola ed un clinometro Suunto, con un grado di accuratezza del rilievo da BCRA 5 fino al grado 2 nel dettaglio. Per la restituzione del rilievo gli astronauti vengono istruiti a compilare i dati nel software Compass in grado di compensare errori e chiudere automaticamente le poligonali ad anello (Grade UISv1 5-2-B, cfr. HAÜSELMANN, 2011).

Il rilevamento dall’ingresso fino al Campo interno, e quello intorno al Campo fino alla Stazione del Vento ed all’inizio della Galleria dei Laghi è stato eseguito



Fig. 6 – Acquisizione dati alla stazione meteorologica (ESA - V. Crobu)

precedentemente dagli istruttori. Un totale di 600 metri di gallerie erano quindi già topografate prima del Corso ESA CAVES nel 2011. Partendo da questo rilievo, durante le spedizioni di Settembre 2011 e 2012, sono state esplorate più di 3 km di gallerie. La prima squadra di cinque astronauti ha topografato circa 700 metri di grotta, esplorandone altri 300 senza eseguire il rilievo. Nel 2012 i sei astronauti partecipanti, avendo a disposizione anche un giorno in più sottoterra, hanno rilevato 1,3 km di passaggi, esplorando diverse centinaia di metri in particolare nella Galleria dei Laghi. In totale oltre 120 stazioni di rilievo sono state misurate e registrate nel software Compass, con il quale è stato realizzato un modello 3D della cavità.

IL PROGETTO SCIENTIFICO

Una volta in grotta gli astronauti seguono un programma tecnico-scientifico molto fitto, del tutto simile a quello pianificato sulla ISS. Una serie di procedure, preparate specificatamente per il Progetto ESA CAVES, spiega esattamente agli astronauti quali esperimenti, campionamenti o attività devono svolgere secondo una tabella oraria ben definita. Tra le attività previste rientrano anche l’esplorazione

dei rami della grotta, la documentazione fotografica e il rilievo, test di comunicazione con il personale che staziona all'ingresso della grotta, prelievo di campioni di acqua, biologici e microbiologici, ricerca di fauna troglobia, misure di temperatura, umidità relativa, pressione e concentrazione di CO₂ nell'aria, monitoraggi in continuo della direzione e della velocità del vento in un restringimento, misure della concentrazione di radon nei pressi del campo e monitoraggio della velocità di stillicidio di una stalattite.

Molte di queste attività richiedono specifiche procedure realizzate appositamente ispirandosi a quelle utilizzate nella Stazione Spaziale Internazionale. Gli astronauti, in pratica, diventano i collaboratori a distanza degli scienziati, e le loro azioni possono consentire, se eseguite bene e con precisione, ai ricercatori di avere a disposizione dati e campioni scientifici utili.

Per quanto riguarda il programma di monitoraggio, sono utilizzate le seguenti apparecchiature:

Tre datalogger Onset HOBO U23 Pro v2 per la temperatura e l'umidità relativa dell'aria.

Due datalogger Onset HOBO ONS-S-BPB-CM50 per la pressione barometrica (accuratezza $\pm 3,0$ mbar), uno localizzato all'interno della cavità, l'altro all'esterno.

Un datalogger CR200 della Campbell Scientific Inc. equipaggiato con un sensore per temperatura e umidità relativa dell'aria MP100A (accuratezza 0.5 °C/2% RH) e un sensore ultrasonico Windsonic (accuratezza 3° per le direzioni del vento e 2% per la velocità dell'aria).

Un logger Stalagmate Mark 3 di Driptych per la misura della frequenza dello stillicidio.

Un misuratore portatile di CO₂ della Zenith (AZ7755) con sensore NDIR (range 0-10000 ppm - accuratezza ± 50 ppm).



Fig. 7 – Il sistema TEDRA™ (ESA - V. Crobu)

Uno strumento Radim 5B (Plch SMM, Repubblica Ceca) per la misura della concentrazione di Radon.

Oltre ai monitoraggi ambientali, gli astronauti hanno anche testato un innovativo sistema di comunicazione tra ambienti sotterranei ed esterno. Il sistema TEDRA™-S1 (Through Earth Digital Radio Appliance) è un sistema radio di trasmissione terrestre composto da due unità, attraverso le



Fig. 8 – La nuova specie (ESA - M. Fincke)

quali la voce è trasmessa come segnale elettrico dal punto di emissione al ricevitore (VILLARROEL *et al.*, 2007; MUÑOZ *et alii*, 2011). Il sistema è alimentato da una batteria a 12 V in grado di immettere una corrente nel terreno nella modalità emittente e di ricostruire il segnale elettrico di questa piccola variazione di voltaggio in modo ricevente utilizzando una frequenza d'onda LF (70 kHz) e una modulazione a canale singolo (SIEMENS, 2007). Il segnale amplificato viene trasmesso nel terreno usando degli elettrodi e la corrente generata attraversa la roccia. Ogni unità TEDRA™-S1 contiene un apparato elettronico emittente/ricevente, due paia di elettrodi in acciaio inossidabile (due per terreno duro e due griglie di contatto per substrati fangosi e/o bagnati), due cavi lunghi 25 metri che connettono l'unità elettronica agli elettrodi ed un microfono. Il sistema ha dimostrato la sua efficacia nei quattro esperimenti condotti durante il corso 2012, consentendo di comunicare tra il Campo interno e la Base esterna, posti a circa 1 km in linea d'aria.

Per quanto riguarda gli studi biologici, sono stati utilizzati diversi sistemi di osservazione, svolgendo ricerca attiva sia di fauna terrestre che acquatica, mettendo in opera delle esche. In particolare è stata indagata la fauna acquatica interstiziale presente nelle acque di stillicidio attraverso l'uso di un "Dripping filter" mentre quella nel suolo delle grotte è stata studiata attraverso l'utilizzo di un "Selettore Berlese". Durante CAVES 2012 - il primo anno in cui si sono svolti questo tipo di ricerche - i risultati sono stati esaltanti, con la scoperta di una nuova specie di isopode cavernicolo acquatico, appartenente al genere *Alpioniscus* e la cattura di un'altra già nota dal vicino Golfo di Orosei, ma nuova non solo per la grotta ma per tutta l'area carsica del Supramonte interno. Queste scoperte hanno dato un ulteriore e fondamentale contributo allo studio genetico sulle popolazioni del genere *Alpioniscus* attualmente in corso (TAITI *et alii*, 2012).

CONCLUSIONI

Il progetto ESA CAVES, ideato nel 2008 e svolto nello

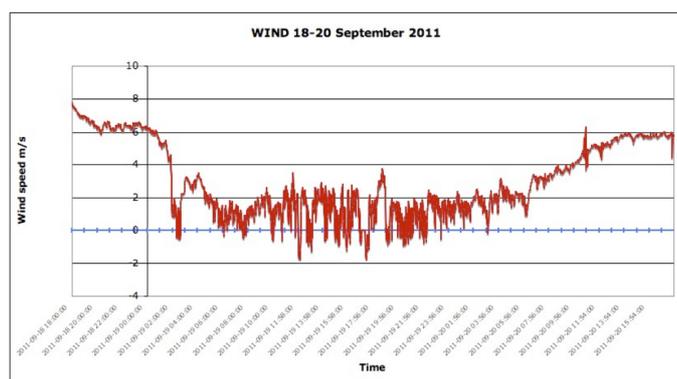


Fig. 9 – Variazioni di velocità e direzione del vento (ESA)

stesso anno, nel 2011 e nel 2012, si è trasformato da un semplice addestramento di astronauti per affrontare un' esplorazione in grotta, ad una vera e propria missione di esplorazione e documentazione dell'ambiente sotterraneo che include varie attività sia tecniche che scientifiche. Queste profonde trasformazioni del Corso hanno reso molto verosimile la missione, tanto da guadagnare la fiducia di tutte le agenzie spaziali internazionali (USA, Russia, Giappone, Canada e Europa). Ritenuto tra i più validi corsi di addestramento per gli astronauti, il Corso ha fornito anche alcuni spunti interessanti dal punto di vista tecnico e scientifico. Durante il Corso, infatti, sono stati testati strumenti di comunicazione sotterranea (TEDRA™-S1) con ottimi risultati, che potranno essere utili alle comunità speleologiche in particolare per i soccorsi in grotta. I dati scientifici di monitoraggio acquisiti ormai dal 2011 stanno fornendo la base di alcune pubblicazioni scientifiche che riguardano la micrometeorologia della grotta, ed in particolare i movimenti delle masse d'aria.

Durante il Corso del 2012, inoltre, è stata scoperta una specie nuova per la scienza, attualmente in corso di pubblicazione, appartenente al genere *Alpioniscus* (crostacei), oltre che un'altra specie nuova per questa zona della Sardegna. E considerato che il Corso proseguirà anche nei prossimi anni non è da escludere che si possano raggiungere ulteriori eccezionali risultati scientifici.

Il Corso ESA CAVES dimostra, se ce ne fosse ancora bisogno, che la Speleologia, svolta spesso lontano dai riflettori, possa essere posta al centro dell'attenzione grazie alle sue enormi potenzialità tecniche e scientifiche.

RINGRAZIAMENTI

Un grazie di cuore ai documentaristi del Progetto ESA CAVES, Vittorio Crobu e Sirio Sechi, le cui immagini si trovano in questo lavoro.

OPERE CITATE

- BESSONE L., COFFEY E., FILIPPOVA N. GREENBERG E., INOUE N., GITTENS M., MUKAI C., ONUFRIENK Y., TOMI L., SCHMIDT L., SHEA C., SHEVCHENKO O., SIPES W., VANDER ARK S., VASSIN A., 2008 - *International Space Station Human Behaviour and Performance Competency Model*.
- BISHOP L.S., 2011 - *From Earth Analogs to Space: Getting There from Here*. Psychology of Space Exploration Chapter 3, NASA SP-2011-4411.
- HAÜSELMANN Ph., 2011 - *UIS Mapping grades. Technical Note*. International Journal of Speleology, 40(2): IV-VI.
- MARBACH G. & ROCOURT J.L., 1980 - *Techniques de la spéléologie alpine*. Techniques sportives appliquées, Choranche: 99 pp.
- MORPHEW M.E., 2001 - *Psychological and Human Factors in Long Duration Spaceflight*. McGill Journal of Medicine, 6(1): 74-80.
- MUÑOZ A., BATALLER V., AYUSO N., MOLINA P., MEDIANO A., CUCHÌ J.A. & VILLARROEL J.L., 2011 - *Noise characterization in Through-The-Earth Communications with Electrodes*. Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Marrakesh, Morocco 7 (5): 481-485.
- RAYMOND A.N., 2011 - *Team Training for long duration Missions in Isolated and Confined Environment: A Literature Review, an Operational Assessment, and Recommendations for Practice and Research*, NASA/TM-2011-216162
- SIEMENS S.A., 2007 - *Digital wireless underground radio communications system*. User guide for model TEDRA™-S1. Edition 01.01 (07.2007): 10 pp.
- SLUSTER J., 2010 - *Behavioural Issues Associated With Long Duration Space Expeditions: Review and Analysis of Astronaut Journals*
- TAITI S., ARGANO R., MARCIA P., SANNA D., CASU M., 2012 - *Morphology and phylogeny of the subterranean genera Alpioniscus and Utopioniscus from Sardinia, Italy (Crustacea, Oniscidea, Trichoniscidae)*. Proceedings of the 21ST International Conference on Subterranean Biology, 2-7 September 2012, Košice, Slovakia.
- VANDEL A., 1965 - *Sur l'existence d'oniscoïdes très primitifs menant une vie aquatique et sur le polyphylétisme des isopodes terrestres*. Annales de Spéléologie, 20, 489-518.
- VILLARROEL J.L., CUCHÌ J.A., MEDIANO A., VIÑALS V., BATALLER V., SALÓS D., MUÑOZ A. & ROSAS F., 2007 - *TEDRA, the development of a software defined cave radio*. CREG Journal, 67, 4-6.

