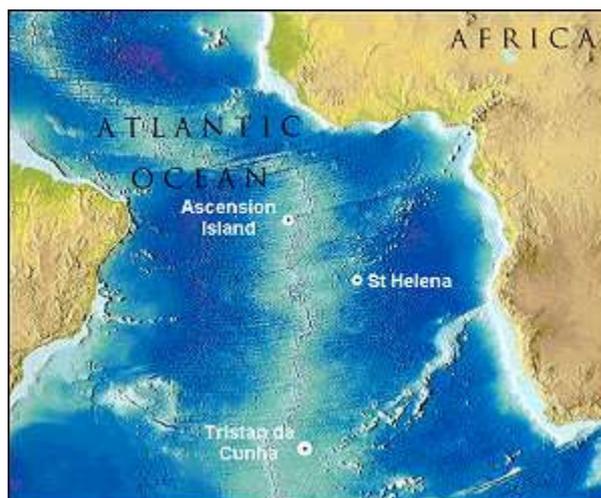


## **2 Materiali e metodi**

Nel presente lavoro sono stati rielaborati i dati raccolti durante il dislocamento di cinque femmine adulte di tartaruga verde nidificanti sull'isola di Ascensione ( $7^{\circ} 57' S$ ,  $14^{\circ} 22' W$ ), Oceano Atlantico meridionale (Figura 3). L'esperimento originale (Luschi et al., 2001), effettuato tra il dicembre 1999 e il febbraio 2000, ha reclutato ben diciotto animali seguiti tramite telemetria satellitare ma solo cinque di essi erano stati equipaggiati con un TDR, e sono stati presi in considerazione per questa tesi. L'esperimento mirava a saggiare le capacità navigazionali delle tartarughe durante il ritorno verso un luogo conosciuto (comportamento di homing, Papi 1992), in un ambiente così vasto e apparentemente privo di punti di riferimento come l'oceano.



*Figura 3: L'isola di Ascensione*

Le tartarughe avvicinate durante una nidificazione, sono state equipaggiate con strumenti di rilevazione dati: un trasmettitore satellitare necessario per ricostruire le rotte di ritorno e un TDR per registrare il comportamento di immersione sempre durante il ritorno. Le femmine catturate avevano già effettuato almeno una deposizione ma erano comunque all'inizio della stagione riproduttiva; in questo modo, dovendo completare il proprio ciclo di deposizioni successive, sarebbero state motivate a tornare all'isola. A questo punto le cinque tartarughe, all'interno di apposite casse di legno, sono state trasportate sul molo di Georgetown (<1 Km), imbarcate sul mercantile *MV Ascension* e portate alle rispettive zone di rilascio; durante il trasporto in nave, gli animali sono stati adeguatamente idratati e

protetti dal sole. I dislocamenti sono avvenuti a distanze comprese tra i 60 e 270 Km dall'isola in direzioni WSW, NW e NE. Nei giorni successivi, le informazioni ottenute dai satelliti, hanno permesso di rilevare se e quando le tartarughe avevano fatto ritorno all'isola; in caso contrario, dei ricercatori monitoravano le spiagge dell'isola in attesa che le tartarughe effettuassero una nuova deposizione, in modo da recuperare il TDR togliendolo dal carapace dell'animale.

## ***2.1 La telemetria satellitare e i data-logger***

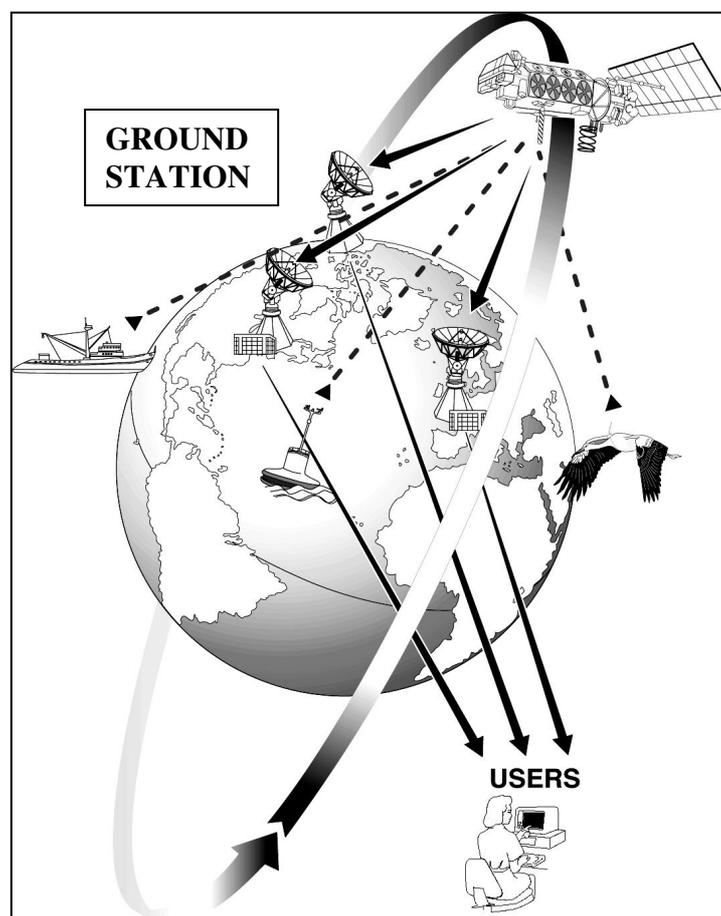
La telemetria satellitare rappresenta il miglior metodo per seguire gli spostamenti di animali che si muovono su lunghe distanze, che sono difficilmente rintracciabili in altro modo. Il suo impiego in campo zoologico risale ai primi anni '90 e le prime esperienze sono state indirizzate verso animali come albatross (Jouventin e Weimerskirch, 1990), pinguini (Hull et al., 1997) o foche (McConnel e Fedak, 1996). Successivamente il sistema è stato esteso anche alle tartarughe marine (e.g. Stoneburner 1982; Renaud e Carpenter, 1994; Plotkin et al., 1995; Gitschlag, 1996) permettendo di accumulare notevole serie di dati e informazioni mai raccolti prima su animali liberi in natura.

Il sistema utilizzato è il sistema Argos. Si tratta di una rete satellitare franco-americana (French, 1994) che rileva gli spostamenti sulla superficie terrestre di oggetti o animali dotati di appositi trasmettenti satellitari denominati PTTs (Platform Terminal Transmitter, figura 2 PTT da mettere).

I satelliti della rete attualmente in funzione sono sette e si trovano in orbita polare (POES- Polar Orbiting Environmental Satellites) ad una quota di 850 Km in modo da captare anche segnali deboli (< 1W in uscita). I satelliti si muovono attorno alla Terra dal polo nord al polo sud, garantendo una copertura pressoché totale della superficie terrestre (Figura 4). Ogni satellite compie un'intera rivoluzione della Terra in circa 101 minuti riuscendo a coprire una fascia di 5000 km di superficie in larghezza. In conseguenza dell'orbita polare il numero di passaggi che un singolo satellite effettua giornalmente su uno stesso punto aumentano con l'aumentare della latitudine, con una media di 6-7 passaggi sull'equatore e 14 ai poli. L'intervallo di tempo entro il quale il trasmettitore risulta visibile dal satellite è di circa 10 minuti ed è in questo lasso di tempo che avviene il contatto tra PTT e satellite. La trasmissione del segnale da parte del PTT avviene ogni 50-200 secondi con una frequenza nominale stabile attorno ai 401.650 MHz. I segnali registrati dai satelliti vengono

inviati a varie stazioni a terra che hanno il compito di trasmetterli a centri di elaborazione negli USA. A questo punto i dati vengono sottoposti ad una prima elaborazione in tempo reale: vengono ordinati cronologicamente, identificati con il numero del trasmettitore, e quindi si procede alla localizzazione tramite complesse metodiche basate sull'effetto Doppler. Gli elaborati vengono infine inviati agli utenti (Figura 5).

Le localizzazioni ottenute (*fixes*) sono suddivise in sei classi di accuratezza (3, 2, 1, 0, A, B, Z) che è stimata essere inferiore ad un chilometro per le prime tre classi (più precisamente 150 m per la classe 3, 350 m per la classe 2 e 1000 m per la classe 1) e a discrezione dell'utente per le classi restanti.



*Figura 4: Schema del funzionamento della rete Argos. Le linee tratteggiate indicano i segnali inviati dalle trasmettenti ai satelliti in orbita; le frecce nere indicano il percorso delle informazioni registrate dal satellite e inviate alle stazioni di ricezione a Terra*

Negli animali marini, il contatto tra satellite e trasmittente si verifica solo quando l'animale è in superficie in quanto i satelliti non possono ricevere trasmissioni emesse dai PTT sott'acqua. Risulta quindi chiaro come animali marini che non necessitano di emergere in superficie per respirare, non possono essere studiati in questo modo. Per questa ragione, inoltre, i trasmettitori con cui sono equipaggiate le tartarughe, oltre ad essere resistenti alla pressione idrostatica, sono dotati di particolari interruttori (*salt-water switch*) che interrompono la trasmissione quando l'animale è in immersione, risparmiando così l'energia delle batterie.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati modelli di trasmittenti sempre più conformi agli animali oggetto di studio. Nel caso delle tartarughe marine, i PTT oggi esistenti creano scarsi problemi di idrodinamica e di ingombro, risultando piccoli e leggeri in relazione alla taglia delle tartarughe. Anche il metodo di fissaggio al carapace (Figura 6), usato per tutte le specie con carapace osseo ma non per la tartaruga liuto, non è invasivo ed è sicuro per la salute dell'animale. In genere vengono utilizzati vari tipi di collanti come resine epossidiche o strati di fibra di vetro (Papi et al., 1997). Nel presente caso, le cinque tartarughe sono state equipaggiate con un PTT modello ST-18, Telonics Inc., Mesa, Arizona fissato tramite Foilfast (SFS Components, Cheltenham, UK).

```

Telnet - 62.161.32.33
Connetti Modifica Terminale ?

***** UNAUTHORIZED ACCESS TO THIS NETWORK IS STRICTLY PROHIBITED *****
Username: papi
Password:

      LOGIN AT 291/0959  LAST ACCESS AT 246/1658 UTC

ARGOS READY
/COH,1201,,A

Prog 1201

20812  7.905S  14.284W  B          070/0446Z-??/????
( 1)   26313          39346

21041  26.430S  35.748E  1          084/2330Z-084/2011
( 1)   255          00          00          00
        00          00          00          00
        162         152         10          86

21042  29.118S  31.952E  A          087/0659Z-069/1807
( 1)   255          00          00          00
        68          18          00          176
        221         22          211         93
  
```

Figura 5: Formato dei dati acquisiti dal satellite e inviati all'utente

Il processo di filtraggio e sistemazione dei dati era già stato effettuato in precedenza e le rotte di ritorno erano già state tracciate (Luschi et al., 2001), grazie a software per la grafica (Sigma Plot 8.0) e la gestione dei dati geografici (ArcView 3.0a).

I dati relativi alle immersioni, su cui si basa il presente lavoro, sono stati raccolti grazie ad un altro tipo di strumento, i TDRs (Time-Depth-Recorders). Si tratta di un tipo di data logger, cioè un dispositivo elettronico dotato di memoria che registra informazioni in tempo reale ad intervalli regolari. La versatilità di questi strumenti permette di registrare dati di varia natura, come ad esempio parametri ambientali quali temperatura, pressione e umidità o anche coordinate geografiche quando sono associati a ricevitori GPS (Global Positioning System). I TDRs, in particolare, registrano tramite manometri valori di pressione idrostatica da cui è possibile risalire alla profondità a cui si trovava lo strumento, e quindi l'animale.

Diversamente da quanto accade per una trasmittente satellitare, i data-logger non trasmettono i dati registrati ma li mantengono nella loro memoria; di conseguenza, il loro recupero è indispensabile per l'acquisizione dei dati. Il vantaggio di questi strumenti è costituito dalla grande quantità di informazioni registrabile e immagazzinabile, enormemente superiore a quelle trasmissibile ai sistemi satellitari. In questo modo si possono registrare dati con un notevole grado di precisione. Una volta recuperato lo strumento, le informazioni in esso contenute vengono scaricate su computer ed elaborate. Nel nostro esperimento, i TDR delle cinque tartarughe dislocate erano modello LTD\_100, con un range di profondità da 0 a 100 m, della LOTEK Marine Technologies (St. John's, Newfoundland). Essi hanno registrato i valori di profondità l'intervallo ogni 12 secondi, con una risoluzione di 4 cm.



*Figura 6: Chelonia mydas equipaggiata con PTT*

## 2.2 L'elaborazione dei dati di profondità

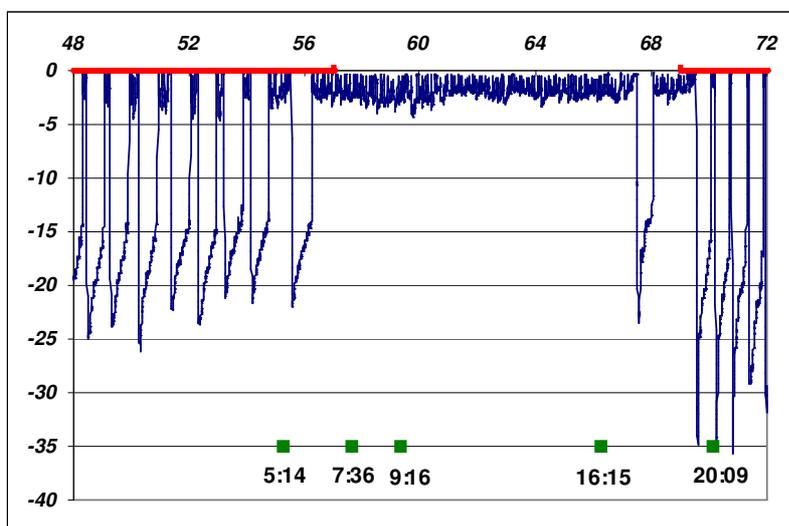
I dati su cui si basa la presente tesi, sono stati scaricati dai TRDs delle tartarughe che hanno fatto ritorno all'isola per nidificare. Una volta scaricati, i dati si presentano come una serie di valori di profondità registrati ad una distanza di 12 secondi l'uno dall'altro. Tutti i TDRs sono stati accesi alla mezzanotte del giorno del rilascio delle tartarughe, con l'eccezione della tartaruga G2, il cui TDR è stato acceso alle 22:00 UT del giorno del rilascio anziché alla mezzanotte (Tabella 1). A questo punto, il giorno è stato considerato iniziare alle ore 7 UT e terminare alle 19 UT, visto che nel periodo dell'esperimento il giorno ad Ascensione andava dalle 6 alle 18 ora locale (UT - 1).

La prima operazione effettuata è stata la costruzione dei profili di immersione, cioè la rappresentazione grafica delle variazioni di profondità nel tempo. I profili, sono stati quindi riportati su scale di 24 ore, in modo da evidenziare il ritmo notturno e diurno delle immersioni all'interno della singola giornata per l'intero viaggio di ritorno.

	<b>Data e ora del rilascio (UT)</b>	<b>Distanza da Ascensione (Km)</b>	<b>Durata del viaggio (giorni)</b>	<b>Direzione del rilascio</b>	<b>Profondità max raggiunta (m)</b>
<b>D1</b>	21 Dicembre 3:15	203	9,7	82 ° WSW	64,3
<b>D2</b>	21 Dicembre 3:21	203,2	12,2	82° WSW	81,6
<b>E2</b>	21 Dicembre 6:00	269,9	7,1	82° WSW	24,4
<b>G2</b>	21 Febbraio 23:07	61,1	3,9	219° NE	48,6
<b>H2</b>	22 Febbraio 3:05	64,9	7,3	120° NW	69,7

Tabella 1: Informazioni generali sul rilascio delle cinque tartarughe.

Per inquadrare la serie di immersioni in un contesto non solo temporale, è stata inoltre realizzata una sovrapposizione dei profili di immersione con i *fixes* ottenuti via satellite (Figura 7): ciò ha permesso di rintracciare e localizzare la serie di profili lungo le rotte. *Fixes* e profili si riferiscono a due scale temporali diverse: i primi ad una scala oggettiva, quella dell'orario di Greenwich, i secondi ad una scala relativa il cui inizio coincide con l'accensione dei TDRs. E' stato quindi necessario riportare gli orari delle registrazion di profondità alla scala assoluta (UT), in modo da far combaciare le due scale e poter rintracciare gli orari dei *fixes* nella serie dei profili.



*Figura 7: Sovrapposizione di fixes e profili nella tartaruga G2. Al di sotto dei fixes sono riportati gli orari (UT) di localizzazione dei segnali; in ascissa le ore di viaggio a partire dall'accensione del TDR e in ordinata le profondità; la linea rossa indica le ore notturne*

Già ad una prima osservazione, l'andamento dei profili risulta piuttosto fisso in tutte le tartarughe che tendono ad effettuare immersioni molto simili tra loro. Si è quindi scelto di suddividere le immersioni superiori ai 5 m di profondità in 4 categorie:

- Tipo 1: discesa in profondità relativamente veloce seguita da una graduale ascesa e successiva rapida risalita in superficie (Figura 8).
- Tipo 2: il profilo è simile al Tipo 1 ma la discesa iniziale raggiunge maggiori profondità.

I criteri utilizzati per distinguere il Tipo 1 dal Tipo 2 sono: a) il Tipo 1 mostra un rapporto tra l'immersione massima e la media inferiore ai 10 m e b) la massima immersione è inferiore ad un certo valore che varia a seconda della tartaruga: 19 m per E2, 20 m per D1 e H2 e 25 m per D2 e G2. Le immersioni che non rispettano contemporaneamente i criteri a) e b) sono state considerate di Tipo 2.

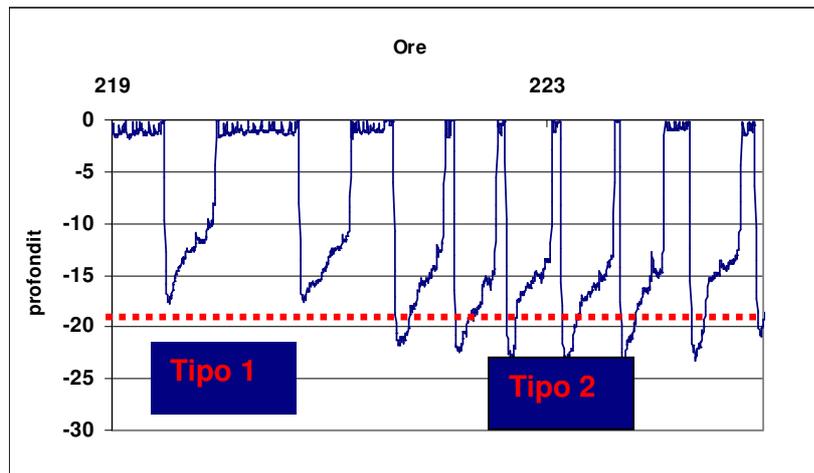


Figura 8: Esempio di immersioni di Tipo 1 e 2 nella tartaruga D1; la linea tratteggiata in rosso rappresenta la soglia di profondità che distingue il Tipo 1 dal Tipo 2.

- Tipo 3: tutte le immersioni superiori ai 5 mt di profondità che non rientrano in nessuna delle categorie precedenti e non presentano un profilo ben definito (Figura 9).
- Tipo 4: raggiungimento di una certa profondità e suo mantenimento per un certo periodo di tempo, (“profili a U”).

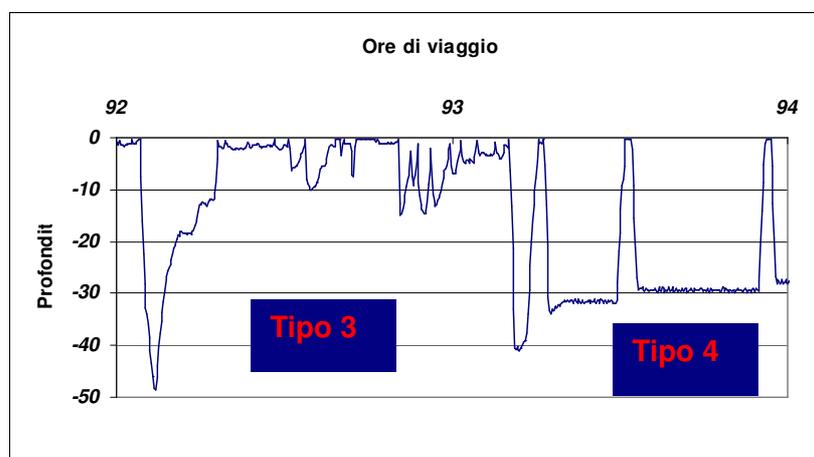


Figura 9: Esempio di immersioni di Tipo 3 e 4 nella tartaruga G2

Il viaggio di ritorno di ciascuna tartaruga è stato fatto iniziare al momento del rilascio dalla nave e terminare quando la tartaruga effettua la prima immersione di tipo 4 (profilo a “U”) nelle immediate vicinanze dell'isola. Questo tipo di immersione infatti, è stata identificata come indicativa del momento in cui l'animale ha raggiunto la piattaforma continentale attorno ad Ascensione ed ha potuto raggiungere il fondo marino, presumibilmente per riposarsi. E' noto che in queste circostanze le tartarughe verdi compiono immersioni dal profilo ad U permanendo a lungo alla profondità massima, che è quella del fondo (Hays et al., 2000). Nel caso di Ascensione, ciò può accadere solo immediatamente al largo dell'isola: ad esempio, nella direzione da cui le tartarughe dislocate hanno raggiunto l'isola (NW), il fondale raggiunge 50 m a soli 2,2 km dalla costa, 100 m a 4,1 km e 200 m a 4,7 km.

Per ciascuna tipologia di profilo è stata analizzata la distribuzione temporale e spaziale all'interno delle singole rotte.

Per mettere in evidenza eventuali differenze nel tipo di immersione delle tartarughe lungo il viaggio di ritorno all'isola, le rotte ricostruite sono state suddivise in una serie di tratti (da un minimo di due a un massimo di cinque) (Figura 10). Questa suddivisione è avvenuta soprattutto in corrispondenza dei cambiamenti di direzione della tartaruga in modo da isolare tratti chiaramente differenti della rotta. Ad esempio gli ultimi tratti, quelli più vicini all'isola, sono quelli in cui la rotta della tartaruga è risultata decisamente più orientata verso l'isola.

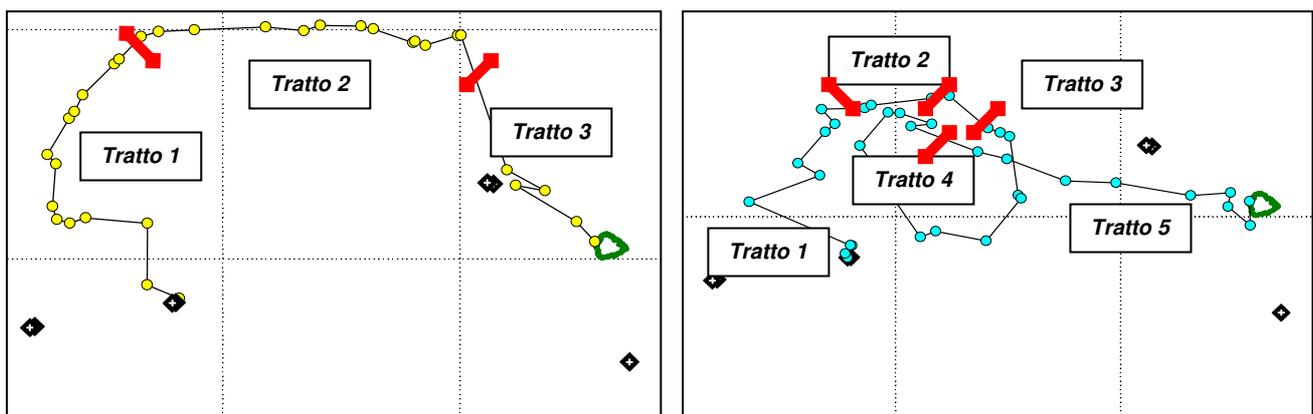


Figura 10: Due esempi di rotte di ritorno di D1, a sinistra, e D2, a destra, suddivise in tratti. Le linee colorate in rosso indicano i fixes di demarcazione tra tratti contigui

Per ogni tratto è stata inoltre effettuata l'analisi della distribuzione delle 4 tipologie di immersione e dei pattern giorno/notte.