

## **4 *Discussione***

I dati analizzati nella presente tesi costituiscono il primo esempio di elaborazione dettagliata del comportamento di immersione delle tartarughe verdi in alto mare e come tali forniscono nuove, rilevanti informazioni su questo importante aspetto della biologia di questa specie. Finora il comportamento in mare della tartaruga verde era stato studiato soprattutto durante il cosiddetto periodo di internesting, cioè nell'intervallo tra due deposizioni successive nella stessa stagione, in una situazione quindi in cui possono essere utilizzati data logger da recuperare alla deposizione successiva (Hochscheid et al. 1999; Hays et al. 2000; 2001; 2004b; Seminoff et al. 2006). Alcune informazioni sull'attività di immersione sono state ottenute anche durante il soggiorno di tartarughe verdi nelle loro aree di alimentazione neritiche (Renaud et al. 1995; Brill et al. 1995), quando esse possono essere osservate direttamente e/o seguite da vicino. In entrambe queste fasi, però, le tartarughe non si allontanano sostanzialmente dalle acque antistanti la spiaggia di nidificazione o dalle zone di foraggiamento, né si mostrano particolarmente attive (e.g. Hays et al. 2004b; Seminoff et al. 2006). Ne risulta che il comportamento tenuto in queste fasi non è particolarmente indicativo di quello che verrà esibito in altri contesti, e soprattutto durante gli spostamenti migratori in ambiente oceanico che avvengono invece in gran parte tramite movimenti attivi. In questi casi, però, le difficoltà tecniche descritte precedentemente impediscono una rilevazione continua e dettagliata del comportamento dell'animale che pure invece sarebbe del massimo interesse date le peculiari esigenze fisiologiche e metaboliche proprie di queste fasi attive.

I risultati ottenuti in questi esperimenti sono quindi particolarmente validi ed interessanti, anche perché ottenuti in condizioni particolarmente probanti per la tartaruga, che erano state sperimentalmente indotte a navigare in oceano aperto per far ritorno ad un obiettivo noto quale l'isola dove stavano nidificando (Luschi et al. 2001), ricreando così la situazione che presumibilmente esse dovranno affrontare durante le loro migrazioni oceaniche. In questo modo riteniamo di avere ottenuto informazioni molto importanti anche in relazione a possibili misure di protezione e conservazione della specie, che, come dettagliato nel capitolo introduttivo, non possono prescindere da una conoscenza estesa ed approfondita della biologia e del comportamento delle specie in esame, in tutte le fasi del loro ciclo vitale.

Finora il comportamento di immersione delle tartarughe verdi è stato studiato soprattutto in ambiente neritico, dove in effetti esse spendono gran parte del loro tempo. In

queste condizioni, è stato in genere rilevato che esse si immergono in continuazione, compiendo solo brevi emersioni per respirare (e.g. Hochscheid et al. 1999; Hays et al. 2000; Renaud et al. 1995). Dove questo è possibile, esse tendono a portarsi in prossimità del fondo del mare, ad esempio per riposare tra una deposizione di uova e la successiva (Hays et al. 2001; Seminoff et al. 2006). La profondità del fondo marino dell'area in cui si trovano determina quindi la massima profondità raggiunta in queste fasi, e le tartarughe verdi non sono comunque note compiere immersioni particolarmente profonde. Come le altre specie di tartarughe marine, anche le verdi sono quindi animali dalle abitudini essenzialmente subacquee le cui immersioni sono solamente limitate dalla continua necessità di risalire in superficie per respirare. E' noto che ad ogni singola risalita infatti, l'animale tende a massimizzare l'accumulo di ossigeno attraverso una profonda inspirazione che riempie totalmente il volume polmonare in modo da migliorare le prestazioni di immersione e da effettuare immersioni più prolungate e raggiungere più facilmente profondità elevate (Lutcavage e Lutz, 1997).

La presente analisi si è basata sui valori di durata e profondità delle immersioni memorizzati dai logger durante la navigazione oceanica e sull'integrazione di questi dati con le rotte di homing ricostruite tramite tracking satellitare. Ciò ha permesso di descrivere in dettaglio il comportamento di immersione delle cinque tartarughe verdi oggetto di studio, soprattutto grazie alla ricostruzione precisa e continuata dei loro profili di immersione per tutto il viaggio di homing. Come accennato in precedenza, è presumibile che la situazione durante un tale movimento attivo in ambiente oceanico sia profondamente diversa da quella durante l'internesting o il soggiorno alle aree di foraggiamento e che così siano le richieste energetiche e metaboliche della tartarughe stesse. Non sorprende quindi che nelle tartarughe di questo studio sia stato osservato un pattern alquanto diverso di immersione rispetto agli studi precedenti. I risultati ottenuti non mostrano, ad una prima analisi, un trend omogeneo, visto che ciascun individuo presenta un proprio andamento dell'attività di immersione. Tuttavia, sono evidenziabili due diversi pattern di distribuzione delle immersioni comuni a tutte le cinque tartarughe: un'alternanza di immersioni superficiali (non oltre i 5 m di profondità) con immersioni più profonde, ed un differenza nell'attività di immersione tra la notte e il giorno.

La continua attività di immersione a bassa profondità è stata osservata in precedenza solo durante brevi fasi attive durante l'internesting (Hochscheid et al. 1999) o il soggiorno alle zone di foraggiamento (Renaud et al. 1995) o, ancora, è stata desunta da dati ottenuti via satellite durante la migrazione (Hays et al. 1999). Essa presumibilmente riflette una

tendenza di questi animali a minimizzare il tempo trascorso sulla superficie dell'acqua così da ridurre l'attrito con essa, spostandosi invece a pochi metri di profondità per aumentare l'idrodinamica e migliorare quindi le prestazioni di nuoto (Hertel, 1966).

Per le immersioni più profonde entrano invece in gioco altri meccanismi. Infatti, se si osserva la forma dei profili delle immersioni profonde di Tipo 2 (Figura 8), è facile riconoscere almeno tre diverse fasi: una prima rapida discesa che termina alla profondità massima dell'immersione (in genere attorno ai 20-25 m), una fase centrale caratterizzata da una graduale ascesa e una terza fase in cui la risalita verso la superficie è più diretta. E' ipotizzabile che durante queste immersioni, che sono generalmente abbastanza prolungate (almeno 20 minuti ciascuna), la tartaruga raggiunga volontariamente queste profondità relativamente elevate, e che questa scelta abbia come scopo quello di ridurre il consumo di energia e sostare a riposo a quella data profondità. Un simile comportamento è possibile grazie alla capacità delle tartarughe verdi di raggiungere e mantenere (anche attivamente) un assetto neutro nella colonna d'acqua, portandosi alla profondità alla quale si raggiunge un equilibrio tra peso e spinta di Archimede ("*neutral buoyancy*"), anche regolando attivamente il volume d'aria contenuto nei polmoni (Hays et al., 2004). Il volume d'aria infatti varia in accordo con la legge di Boyle, decrescendo all'aumentare della pressione idrostatica circostante e determinando quindi un incremento netto della densità del corpo con il progredire della profondità. Questo comportamento di mantenimento alla profondità in cui si ha *neutral buoyancy*, noto anche nella tartaruga comune *Caretta caretta* (Minamakawa et al., 1997; 2000), porta all'effettuazione di immersioni di forma simile a quelle del Tipo 2 rilevato nel presente studio, in cui alla fase di discesa ne segue una di graduale ascesa verso la superficie, in cui la tartaruga sosta intorno ad una certa profondità in assetto neutro, anche senza nuotare attivamente (Hays et al. 2004). Considerato che le tartarughe marine utilizzano i polmoni come organi di regolazione del galleggiamento e di immagazzinamento dell'ossigeno, e che il volume d'aria in essi contenuto varia in base alla legge di Boyle, si ritiene che la fase di ascesa graduale derivi da una compensazione dell'assetto in risposta alla riduzione del contenuto di aria polmonare a seguito della condizione di apnea. La quantità di ossigeno immagazzinato nei polmoni durante le emersioni, viene infatti consumato dalla tartaruga durante l'immersione tanto che profondità e durata delle immersioni dipendono strettamente dalla quantità di aria inspirata poco prima di immergersi (Minamakawa et al., 1997). Questo consumo porta ad una progressive diminuzione del volume della tartaruga in immersione, e quindi della spinta di Archimede che essa riceve: ne consegue che la *neutral buoyancy* viene via via

raggiunta a profondità leggermente minori nell'ambito della stessa immersione, man mano che essa procede. Le profondità di riposo a cui giungono le tartarughe sono infatti variabili, così come la durata di queste immersioni, ad indicare che le tartarughe immagazzinano più ossigeno prima di compiere un'immersione particolarmente profonda (Minamakawa et al., 2000). E' inoltre noto che, per soddisfare la continua richiesta di ossigeno anche in immersione, i polmoni delle tartarughe possiedono un'ampia superficie deputata agli scambi gassosi e una bassa resistenza al passaggio dei gas stessi, il che favorisce un rapido ed efficace accumulo di ossigeno durante l'inspirazione (Lutcavage e Lutz, 1997).

La funzione di riposo o almeno di scarsa attività attribuita alle immersioni più profonde rilevate nel presente studio trova conferma nel fatto che la maggior parte di esse viene compiuta durante le ore notturne. Inoltre, il fatto che la dieta degli adulti di tartaruga verde è esclusivamente erbivora esclude che essi raggiungano quelle profondità per foraggiare. L'elevato numero di immersioni profonde compiute ha spinto a considerare anche la velocità di percorrenza di vari tratti del viaggio, per capire se questo comportamento potesse in qualche modo influenzare lo spostamento effettuato dagli animali. In particolar modo si è voluto valutare se all'aumentare del numero di immersioni profonde corrispondesse un rallentamento dell'andatura delle tartarughe. In effetti, la velocità di spostamento è risultata essere in relazione inversa con il numero di immersioni effettuate negli intervalli tra *fix* considerati, con una tendenza confermata anche dal Test di Pearson che ha individuato una correlazione negativa statisticamente significativa tra i due parametri.

Lungo il viaggio di ritorno all'isola, le tartarughe hanno effettuato immersioni appartenenti anche ad altre tipologie (Tipi 1, 3 e 4), la cui distribuzione non è risultata casuale, a indicare che la diversa collocazione delle immersioni lungo la rotta rispecchia una loro diversa funzione. Considerando la divisione in tratti delle singole rotte (Figura 10), è emerso che le immersioni di Tipo 1 dominano i primi tratti delle rotte diminuendo progressivamente in prossimità dell'isola. Le immersioni di Tipo 2, in genere le più profonde, mostrano invece una distribuzione piuttosto varia con picchi di frequenza nei tratti intermedi delle rotte. Le immersioni di Tipo 3, infine, si concentrano principalmente negli ultimi tratti del viaggio, quando la tartaruga si trova lungo la direzione dell'isola. Al momento non sembrano esserci spiegazioni immediate per una tale distribuzione diseguale dei varie tipi di immersione. Un caso a parte è rappresentato dalle immersioni di Tipo 4 che ricorrono solo nelle immediate vicinanze dell'isola quasi al termine del viaggio e spesso si presentano in fitta sequenza.

Tra le immersioni profonde effettuate dalle cinque tartarughe ne emergono alcune, denominate immersioni P, che raggiungono profondità elevate rispetto a quelle abitualmente raggiunte dalle tartarughe (Figura 20). Queste immersioni non trovano un corrispettivo nell'attività di immersione rilevati nelle tartarughe verdi in altre condizioni, e sembrano quindi essere peculiari della navigazione oceanica in cui è stato compiuto questo studio. Le immersioni P mostrano una particolare distribuzione, essendo molto più frequenti nelle ultime parti del viaggio, da quando le tartarughe sono a qualche decina di km dall'isola fino alle sue immediate vicinanze. Sembrerebbe quindi plausibile che l'effettuazione di queste immersioni prolungate sia legata alla necessità delle tartarughe di ritrovare l'isola a seguito del dislocamento, ad esempio per trovare indizi utili che permettano loro di dirigersi verso la stessa. Il comportamento di homing rilevato negli esperimenti di dislocamento effettuati ad Ascensione (quelli considerati nel presente studio ed altri successivi), ha in effetti portato ad ipotizzare che le tartarughe localizzino l'isola utilizzando stimoli derivanti dall'isola e portati dal vento a distanze medio-brevi (60-80 km circa) dalla stessa (Luschi et al. 2001; Hays et al. 2003). Le tartarughe dislocate, infatti, tipicamente compiono tratti finali direzionati verso l'isola muovendosi controvento (che nella zona di Ascensione spira costantemente da sudest), ed è proprio in questi tratti che le tartarughe studiate hanno effettuato la maggior parte delle immersioni P. La presenza di immersioni profonde negli ultimi tratti della rotta non sembra però essere in immediata relazione con l'impiego di informazioni portate dal vento, che avrebbe dovuto casomai portare ad un aumento del tempo trascorso in superficie. La funzione di queste immersioni P è quindi al momento ignota, e solo ulteriori indagini sperimentali potranno permettere di chiarire il problema. A titolo puramente congetturale, si potrebbe supporre che la tartarughe debbano integrare in qualche modo gli stimoli portati dal vento (e recepiti in superficie) con altre informazioni ottenibili solo a profondità relativamente elevate e che quindi potrebbero magari fungere da "riferimento" per un pieno apprezzamento del valore navigazionale delle informazioni portate dal vento.

In conclusione, il presente studio ha mostrato come l'impiego di tecniche di rilevazione e raccolta dati come la telemetria satellitare e i TDR e soprattutto il loro affiancamento nell'ambito di una stessa analisi, permette di ottenere un quadro estremamente dettagliato e completo del comportamento di tartarughe marine in navigazione oceanica. In particolare, la scelta del dislocamento come approccio sperimentale, oltre a fornire importanti indicazioni sui meccanismi di orientamento e navigazione utilizzati da questi

animali per fare ritorno a casa, può consentire l'uso di sistemi di logger in da ottenere preziose informazioni su altri aspetti del comportamento delle tartarughe, che sono purtroppo difficilmente reperibili in altro modo soprattutto a causa della durata e dell'entità degli spostamenti compiuti in condizioni naturali.