
Università degli Studi di Pisa
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea Specialistica in Biologia Marina



**STUDIO DEI MOVIMENTI DI FORAGGIAMENTO DI
TARTARUGHE COMUNI (*CARETTA CARETTA*) IN
RELAZIONE A VARIABILI AMBIENTALI**



Relatori : *Dott. Paolo Luschi*
Dott. ssa Resi Mencacci

Candidato:
Caterina Filannino

ANNO ACCADEMICO 2006 / 2007

RIASSUNTO	5
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUZIONE	9
1.1 CENNI SULLA BIOLOGIA DELLE TARTARUGHE MARINE	9
1.2 LE TARTARUGHE COMUNI.....	10
1.2.1 <i>Il ciclo vitale delle tartarughe comuni.....</i>	<i>11</i>
<i>Migrazione dalla spiaggia di nascita all'habitat di sviluppo.....</i>	<i>12</i>
<i>Migrazione dall'habitat di sviluppo all'area di foraggiamento</i>	<i>16</i>
<i>Migrazione riproduttiva</i>	<i>18</i>
1.2.2 <i>Le tartarughe comuni del Mediterraneo.....</i>	<i>19</i>
1.3 SCOPO DELLA TESI.....	23
2. MATERIALI E METODI	26
2.1 SOGGETTI DI STUDIO	26
<i>Liberty.....</i>	<i>26</i>
<i>Aphrodite, Esaco e Union.....</i>	<i>26</i>
<i>Emiliano.....</i>	<i>27</i>
2.2 TRACKING SATELLITARE	28
2.3 ELABORAZIONE DATI.....	34
2.3.1 <i>Ricostruzione delle rotte</i>	<i>34</i>
2.3.3 <i>Analisi dei dati di immersione.....</i>	<i>36</i>
2.3.2 <i>Remote sensing.....</i>	<i>37</i>
3. RISULTATI.....	39
3.1 DESCRIZIONE DELLE ROTTE	39
3.1.1 <i>LIBERTY.....</i>	<i>39</i>
3.1.2 <i>APHRODITE.....</i>	<i>44</i>
3.1.3 <i>ESACO.....</i>	<i>50</i>
3.1.4 <i>UNION.....</i>	<i>55</i>
3.1.5 <i>EMILIANO.....</i>	<i>59</i>

3.2	COMPORAMENTO DI IMMERSIONE	61
3.3	ANALISI DEGLI ANDAMENTI NEI TRATTI	73
3.3.1	<i>Velocità e Temperatura</i>	73
3.3.2	<i>Velocità e Clorofilla</i>	78
3.3.3	<i>Batimetria e Velocità</i>	84
3.3.4	<i>Velocità e Durata Media delle Immersioni</i>	88
4.	DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	91
5.	BIBLIOGRAFIA.....	99

*« Anche se le leggi della matematica si riferiscono alla realtà,
non possiedono una veridicità assoluta, e se l'avessero,
allora non si riferirebbero alla realtà.»*

Albert Einstein



RIASSUNTO

Obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di investigare uno dei periodi meno conosciuti del ciclo vitale delle tartarughe comuni (*Caretta caretta*) mediterranee, ovvero il periodo giovanile.

Di recente, l'evoluzione delle tecniche di telemetria satellitare ha consentito di seguire anche i movimenti di individui di dimensioni relativamente ridotte, permettendo così di ricostruire con buona accuratezza le rotte seguite dalle tartarughe giovani durante il loro prolungato soggiorno in ambiente neritico e di ottenere preziose informazioni sul loro comportamento generale durante queste fasi.

Nel presente lavoro sono stati presi in considerazione cinque giovani di tartaruga comune che erano stati catturati accidentalmente da pescherecci, riabilitati da appositi centri di recupero e rilasciati in varie zone dei mari italiani (a Lampedusa, Livorno e Rimini). Trasmettitori satellitari connessi col Sistema Argos incollati sul loro carapace hanno permesso di seguire gli animali nei loro spostamenti per 4-11 mesi tra il 2006 e il 2007.

I dati di localizzazione giornalieri ottenuti dai satelliti Argos sono stati analizzati e filtrati sulla base di apposite procedure, fino ad ottenere un set di dati affidabile con cui ricostruire le rotte seguite da questi animali. L'analisi dell'andamento delle rotte in relazione ai dati oceanografici e biologici ottenuti tramite sensori ambientali installati sulle trasmettenti e tecniche di remote sensing, ha inoltre permesso di valutare il ruolo delle principali variabili ambientali nel delineare il pattern comportamentale complessivo mostrato dalle tartarughe.

Nel complesso, tutte le tartarughe comuni prese in esame si sono mantenute all'interno delle aree, anche estese spazialmente, in cui sono state rilasciate, senza intraprendere spostamenti rilevanti, ad esempio di natura migratoria. La ricostruzione delle rotte seguite dalle tartarughe ha confermato l'importanza del Golfo di Gabès e del Mar Adriatico settentrionale come aree di foraggiamento ottimali per i giovani all'interno del Mediterraneo. I dati ottenuti per la tartaruga rilasciata nel Mar

Adriatico avvalorano l'ipotesi secondo cui l'area maggiormente attrattiva dal punto di vista del foraggiamento, sia la porzione nord-orientale dell'Adriatico. I tre esemplari rilasciati da Lampedusa sono rimasti a foraggiare nel Mediterraneo Centrale, in un area spazialmente definita tra la Sicilia ed il Golfo di Gabès, mentre l'esemplare rilasciato a Livorno ha mostrato una fedeltà estrema ad un'area circoscritta presso le secche della Meloria, al largo di Livorno. In questo caso, però, la relativamente ridotta durata del tracking non ci ha permesso di estendere queste osservazioni per un periodo prolungato.

Lo studio dei fattori ambientali ha sottolineato l'importante ruolo della temperatura del mare delle aree frequentate dagli animali, nel determinare variazioni nella velocità di spostamento degli stessi e nel comportamento di immersione esibito da tutte le tartarughe considerate. Rilevanti aumenti nella durata delle immersioni durante il periodo invernale, soprattutto evidenti nella tartaruga che ha soggiornato nel nord Adriatico, forniscono evidenze della presenza di un comportamento di ibernazione, probabilmente innescato dallo scendere delle temperature dell'acqua al di sotto di valori soglia intorno ai 14-15°C.

Anche la concentrazione di clorofilla rilevata nelle zone frequentate influisce sul comportamento di questi animali portando in genere ad una diminuzione della velocità di spostamento in presenza di concentrazioni più elevate, poiché l'animale tende a stazionare per nutrirsi.

Infine il profilo batimetrico dei fondali delle aree attraversate dalle tartarughe di Lampedusa è risultato spesso differente da quello che era atteso per animali giovani nella fase neritica di sviluppo, poiché appare evidente che esse hanno soventemente soggiornato in ambiente oceanico.

L'impiego di tecniche di telemetria satellitare ha quindi rappresentato un ottimo metodo di indagine per ottenere un quadro dettagliato e completo del comportamento di tartarughe giovani nei loro movimenti di foraggiamento in mare aperto. L'utilizzo di sensori in grado di rilevare dati comportamentali ed ambientali, nonché l'impiego di dati derivanti da tecniche di remote sensing, ha consentito di fornire interpretazioni plausibili per i principali pattern di attività mostrati dalle tartarughe seguite.

ABSTRACT

The main objective of the present work was to investigate one of the least-known periods of the life cycle of Mediterranean loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*), the juvenile neritic phase.

Recently, the development of satellite telemetry techniques has allowed to track the movements of turtles of relatively modest size, allowing to reconstruct the routes followed by juvenile turtles during their prolonged stay in the neritic environment with fairly good accuracy, and to get information on their general at-sea behaviour.

In this work we considered five juvenile loggerhead turtles that were accidentally caught by fishing vessels, rehabilitated by special rescue centres and released in various areas of Italian seas (Lampedusa Island, Livorno and Rimini). Transmitters connected with the Argos satellite system were glued on their carapace, making it possible to follow them during their open-sea movements for 4-11 months between 2006 and 2007.

The localization data obtained daily by Argos satellites were analysed and filtered following specific procedures, in order to obtain a set of reliable data with which to reconstruct the routes

followed by these animals. The analysis of the routes in relation to biological and oceanographic information obtained by environmental sensors installed on transmitters and by remote sensing techniques, has also contributed to evaluate the role of the main environmental variables in determining the overall behavioural pattern shown by the tracked turtles.

All the turtles remained within the areas, even spatially extended, in which they were released, without undertaking significant long-distance movements, e.g. of migratory nature. The reconstruction of the routes followed by the turtles has confirmed the importance of the Gulf of Gabès and of the northern Adriatic Sea as optimal feeding grounds for the Mediterranean juvenile loggerheads. The data obtained for the turtle released in the Adriatic Sea corroborate the hypothesis that the north-eastern portion

of the Adriatic constitutes a most attractive feeding zone. The three turtles released from Lampedusa remained in the Central Mediterranean to forage, in a spatially defined area between Sicily and the Gulf of Gabès, while the turtle released in Livorno showed extreme fidelity to a limited area at the Meloria shoals, offshore Livorno. In this case, however, the relatively limited duration of tracking has not allowed us to extend these observations for a prolonged period.

The study of environmental factors has highlighted the important role of the sea surface temperature of the areas frequented by the animals in determining relevant changes in the movement speed and the diving behaviour exhibited by all the turtles considered. Significant increases in the duration of dives performed during the winter, especially evident in turtle overwintering in the north Adriatic, provide evidence of the presence of an hibernation strategy, probably triggered by the fall of water temperatures below threshold values around 14 -15°C.

The concentration of chlorophyll measured in the areas frequented by tracked animals also affected their behaviour, usually leading to a decrease in movement speed in the presence of high chlorophyll concentrations, probably because the animals tended to remain stationary to feed.

Finally, the bathymetry profile of the areas crossed by Lampedusa turtles was often different from that expected for neritic-stage juveniles, given that they often stayed in deep waters of the oceanic environment.

The use of satellite telemetry techniques has proved to be an excellent method to obtain a complete and detailed picture of the movements and behaviour of juvenile turtles during their offshore foraging. The reliance on sensors detecting behavioural and environmental parameters and on data obtained from remote sensing techniques, additionally allowed to provide plausible interpretations for the main behavioural patterns displayed by tracked turtles.

1. INTRODUZIONE

1.1 Cenni sulla biologia delle tartarughe marine

Le tartarughe marine moderne discendono da forme terrestri e palustri, che abbandonarono la terra ferma per colonizzare l'ambiente marino. Sono comparse negli oceani circa 110 milioni di anni fa diversificandosi all'inizio del Terziario (almeno 50-60 milioni di anni fa) in quattro famiglie distinte, due delle quali sono ancora viventi: *Chelonidi* e *Dermochelidi*, entrambi appartenenti all'ordine *Testudines*, sottordine *Cryptodira* (Pritchard 1997).

La riduzione della massa corporea e la presenza di un collo visibilmente accorciato per ridurre l'attrito con l'acqua, sono solo alcune delle modificazioni che fanno del corpo di questi animali una struttura perfettamente adattata alla locomozione in acqua. Gli arti, trasformati nel corso dell'evoluzione in pinne natatorie potenti e sviluppate, rappresentano un ulteriore valido compromesso tra nuoto e locomozione vera e propria (Pritchard, 1997).

Tuttavia, gli adattamenti più importanti rimangono quelli a carico dell'apparato cardiocircolatorio e respiratorio. Un efficiente sistema di trasporto dell'ossigeno, una straordinaria tolleranza all'ipossia e all'ipercapnia, nonché un metabolismo modificabile in base alle esigenze, sono adattamenti altrettanto rilevanti se confrontati con i vari vertebrati marini in grado di compiere immersioni prolungate ed in profondità (Seymour, 1982; Glass e Wood, 1983).

Alla famiglia dei Chelonidi appartengono sette delle otto specie attualmente viventi, mentre una sola specie fa parte della famiglia dei Dermochelidi.

I Chelonidi comprendono le più tipiche tartarughe marine, diffuse nelle acque dei mari tropicali e subtropicali. Si tratta di animali di dimensioni relativamente grandi, caratterizzati da una corazza cornea appiattita di forma idrodinamica, in genere non completamente ossificata. Le zampe, che possono essere parzialmente incamerate all'interno della corazza, sono appiattite e fungono da natatoie, mentre il cranio, rappresentativo della famiglia, ha forma a tetto più o meno retrattile, con una sviluppata ranfoteca. La tartaruga verde (*Chelonia mydas*), è l'unica specie del

genere *Chelonia*, da cui prende il nome la famiglia. E' erbivora e si nutre di alghe e fanerogame marine, a differenza della maggior parte delle altre tartarughe marine che sono carnivore e si cibano prevalentemente di spugne, meduse e altri invertebrati planctonici (Bjondal, 1997; Lutcavage e Lutz, 1997)

La famiglia Dermochelidi è rappresentata da una sola specie, la tartaruga liuto (*Dermochelys coriacea*), diffusa in tutti i mari temperati-caldi e negli oceani a latitudini elevate. A differenza di quanto accade nelle altre tartarughe, lo scheletro della tartaruga liuto non è saldamente attaccato alla corazza e quest'ultima, formata da placche ossee separate e di forma poligonale, è rivestita da una pelle liscia e coriacea, priva di squame. Gli arti sono robusti e a forma di remo, per nuotare sulle lunghe distanze; quelli anteriori sono molto grandi, soprattutto negli individui giovani. Dal punto di vista della taglia, la tartaruga liuto è in grado di raggiungere le dimensioni maggiori tra tutte le tartarughe marine esistenti, raggiungendo lunghezze di circa 2,4 m e un peso di 540 kg.

Le tartarughe marine hanno una distribuzione su scala mondiale che comprende le acque temperate oceaniche subtropicali e tropicali; distribuzione geografica differente è invece quella della tartaruga liuto, che presenta evidenti adattamenti ad acque fredde che si trovano a latitudini maggiori.

1.2 Le tartarughe comuni

La tartaruga comune (*Caretta caretta*), è una delle sette specie attualmente viventi della famiglia dei chelonidi. E' una specie a distribuzione cosmopolita, ampiamente diffusa nelle acque temperate-calde, subtropicali, e talvolta tropicali di mari ed oceani (Pritchard 1997).

Possiede generalmente un carapace di colore rosso-marrone, striato di scuro nei giovani esemplari, e un piastrone giallastro, a forma di cuore, spesso con larghe macchie arancioni e colorazione più intensa sui bordi. Lo scudo dorsale del carapace è dotato di cinque coppie di scudi costali e cinque scudi vertebrali.

Caratteristica distintiva delle tartarughe comuni è rappresentata dalla testa e dal becco relativamente larghi (Pritchard and Trebbau 1984), in modo analogo agli arti

anteriori. Si pensa che la morfologia della testa e del rostro, si pensa possano essere adattamenti per un'alimentazione basata su crostacei e molluschi. Per quanto riguarda invece gli arti è stato ipotizzato che tale adattamento si sia evoluto per le migrazioni a lunga distanza (Pritchard and Trebbau 1984; Wyneken 1997), che in effetti questi animali sono noti compiere in varie fasi del ciclo vitale (vedi sotto).

I piccoli alla nascita possiedono una lunghezza di circa 5 cm, mentre un esemplare adulto è lungo circa 80 - 140 cm, con un peso variabile tra i 100 ed i 160 kg. Come in tutte le altre specie di chelonidi, è presente un dimorfismo sessuale che permette la distinzione tra maschi e femmine sessualmente maturi. I maschi, al raggiungimento della maturità sessuale, che avviene approssimativamente dopo i 15 anni, mostrano infatti una lunga coda ed una singola e resistente unghia per arto anteriore, con cui si attaccano alla femmina durante l'accoppiamento. Inoltre possiedono un corpo più largo, ed una testa relativamente più larga, se messa in relazione alle dimensioni relative corporee.

Come la maggior parte delle altre specie, le tartarughe comuni sono organismi migratori, le cui modalità di viaggio e la distanza percorsa dipendono dal periodo del ciclo vitale (Hughes 1989; Luschi et al 2003; Plotkin 2003) (vedi dopo).

1.2.1 Il ciclo vitale delle tartarughe comuni

Il ciclo vitale delle tartarughe marine (Fig.1.1) è simile in tutte le specie e può essere analizzato come una serie di cambiamenti ontogenetici dell'habitat, poiché, a diverse fasi vitali corrispondono differenti habitat a cui gli animali accedono compiendo spesso delle vere e proprie migrazioni.

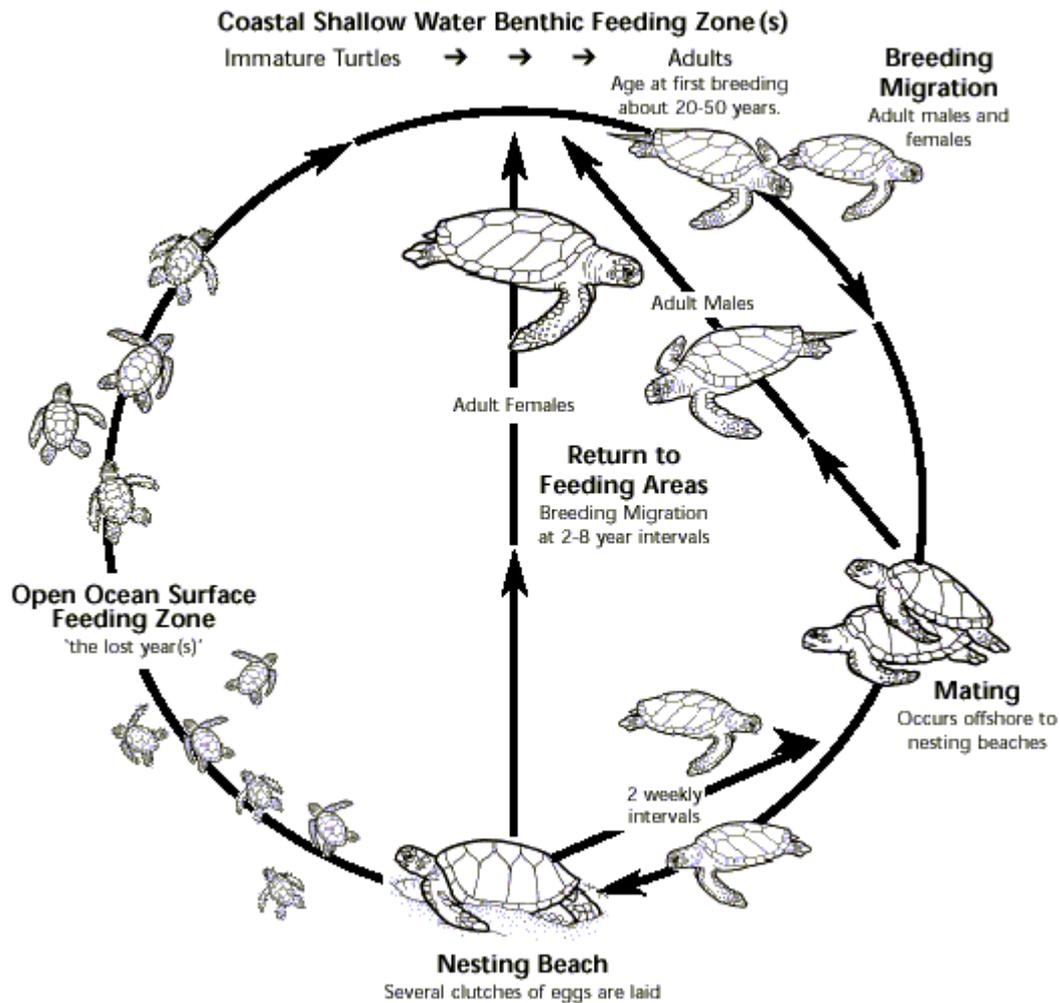


Figura 1.1 Ciclo vitale delle tartarughe marine (Miller, 1997)

E' possibile individuare innanzitutto tre principali migrazioni durante il ciclo vitale di una tartaruga: dalla spiaggia di nascita all'habitat di sviluppo, dall'habitat di sviluppo all'area di foraggiamento e da quest'ultima ai siti di nidificazione.

Migrazione dalla spiaggia di nascita all'habitat di sviluppo

Hatchling

Il ciclo vitale di una tartaruga marina inizia con la deposizione delle uova, che avviene solitamente durante le ore notturne o crepuscolari. Al momento della nidificazione le femmine, dopo aver trovato un luogo adeguatamente riparato, scavano, utilizzando soprattutto gli arti posteriori, una buca profonda circa 50-60 cm.

Deposte le uova, che si aggirano attorno al centinaio, le femmine ricoprono con accuratezza la camera d'incubazione, affinché venga garantita un'adeguata umidità e temperatura, nonché protezione dall'ambiente esterno.



Figura 1.2 Femmina di *Caretta caretta* durante la deposizione delle uova

La durata dell'incubazione oscilla tra i 45 e gli 80 giorni, al termine dei quali, i piccoli fuoriescono dal guscio (Fig.1.2) ed emergono dalla camera d'incubazione. Una volta usciti dal nido, i piccoli, nel tentativo di rendere minimi i pericoli connessi all'elevata pressione predatoria durante l'attraversamento della spiaggia, si dirigono rapidamente ed in modo attivo verso il mare.



Figura 1.3 Piccoli di tartaruga appena usciti dal nido.

Questo comportamento attivo, il cui scopo è quello di permettere una maggiore probabilità di sopravvivenza, si basa su un orientamento fototassico, poiché i piccoli si orientano verso la zona maggiormente illuminata, cioè il mare. (Lohmann et al. 2003)

Una volta in acqua, dal momento in cui gli stimoli visivi non forniscono più informazioni utili all'orientamento, si ritiene che intervengano altri stimoli che dirigono i piccoli verso il mare aperto. Esperimenti effettuati sia in natura che in cattività (Lohmann et al. 2003), hanno difatti dimostrato che, in prossimità della costa, i piccoli sono in grado di allontanarsi con direzione perpendicolare a quella delle onde, e di mantenere tale orientamento anche in acque più profonde utilizzando informazioni provenienti dal campo magnetico terrestre.

Si pensa che questa maggiore attività sia necessaria per portare i piccoli dalla zona neritica al mare aperto, caratterizzato da una pressione predatoria minore, e dove avverrà l'incontro con le correnti che costituiranno il loro habitat successivo. Durante questa fase i piccoli abbandonano il periodo di prealimentazione, durante il quale è presente ancora la dipendenza nutrizionale dal materiale residuo del tuorlo, ed iniziano ad alimentarsi in modo attivo. Lo stadio di transizione tra ambiente neritico ed oceanico può durare giorni, settimane o mesi, in quanto dipende dalla casualità delle correnti superficiali e dei venti, che possono sia facilitare che inibire il raggiungimento della zona oceanica.

L'unica eccezione a questo pattern riguarda la specie *Natator depressus*, i cui neonati apparentemente mancano della fase oceanica durante il loro sviluppo, rimanendo all'interno delle zone neritiche (Walker and Parmenter, 1990).

Lo stadio giovanile oceanico

Lo stadio oceanico giovanile ha inizio nel momento in cui le tartarughe, a seguito del loro ingresso nei sistemi circolari di corrente a decorso globale, accedono appunto alla zona oceanica.

All'interno dei giri di corrente vengono concentrate le prede planctoniche di cui i giovani di tartaruga si nutrono; si verifica pertanto un fenomeno di co-trasporto delle tartarughe con la loro fonte di cibo, che risulta ottimale per la crescita degli individui.

Inoltre, questi ambienti sono caratterizzati da una pressione predatoria minore rispetto a quella presente nelle acque costiere, nelle quali sono presenti numerosi predatori naturali, quali uccelli marini e pesci.

Le tartarughe, in questa fase, mostrano sia un movimento di tipo attivo che di tipo passivo, in relazione alle correnti oceaniche superficiali, ai venti e alle caratteristiche di tipo batimetrico (come suggerito da dati di telemetria satellitare e studi di remote sensing) (Bolten 2003).

I principali flussi delle maggiori correnti oceaniche, hanno un ovvio effetto sui movimenti delle tartarughe, producendo forze che possono dirigere il nuoto in una determinata direzione, che non necessariamente concorda con quella decisa dall'animale. Questo processo, valido soprattutto per gli adulti, ha influenza sulle tartarughe così come gli uccelli in volo possono essere trasportati dai venti (Richardson, 1990).

In ogni caso le tartarughe giovani sono state osservate effettuare movimenti a lunga distanza in differenti direzioni, spesso nuotando contro le principali correnti (Polovina et al. 2000). Questo mostra che i giovani non sono completamente dipendenti dal flusso delle correnti, e che possono compiere movimenti attivi, probabilmente connessi con necessità alimentari e/o fattori ambientali (come la temperatura, Bentivegna 2002).

Tuttavia, gli effetti dei fattori ambientali sui tali movimenti sono tutt'ora poco conosciuti, e solo in pochi casi l'integrazione dei dati di tracking satellitare e remote sensing, hanno fornito chiare spiegazioni circa il modo in cui i movimenti dei giovani di tartaruga vengano influenzati dai fattori ambientali.

In prossimità di montagne marine, banchi oceanici e scogliere che affiorano vicino alla superficie o attorno alle isole oceaniche, le tartarughe comuni in fase oceanica possono diventare epibentoniche/demersali, alimentandosi o trascorrendo la maggior parte del loro tempo sul fondale. La durata dello stadio oceanico giovanile può oscillare tra i 7 ed i 10 anni (Klinger and Musick, 1995). Le cause di tale variabilità non sono conosciute, ma possono dipendere da vari fattori come la localizzazione delle tartarughe nella zona oceanica e la disponibilità delle risorse alimentari.

Tuttavia, i luoghi in cui i giovani soggiornano nelle zone oceaniche, e quanto a lungo vi permangono sono poco conosciuti, al punto che si fa riferimento a questo periodo soprannominandolo gli “anni perduti”.

Migrazione dall’habitat di sviluppo all’area di foraggiamento

Stadio di transizione giovanile

Nel periodo che precede il raggiungimento della maturità sessuale, i giovani si spostano attivamente dall’ambiente oceanico verso zone neritiche, dove stabiliranno le proprie aree residenziali di alimentazione. Durante questo periodo di transizione, è probabile che si verifichino mutamenti sia dal punto di vista del comportamento di foraggiamento (da epipelagico a bentonico), che dal punto di vista morfologico (Kamezaki et al. 1997).

Sono tuttora incerte le ragioni che portano, animali che si stanno sviluppando in un habitat, quello oceanico, caratterizzato presumibilmente dalla presenza di cibo, ad abbandonarlo per spostarsi in aree che sono loro completamente sconosciute.

Werner e Gilliam (1984) hanno esaminato la teoria dello shift dell’habitat su base ontogenetica, ed hanno ipotizzato che una specie che effettua tale spostamento, abbia come fine quello di massimizzare il tasso di crescita. Per esempio, nel caso delle tartarughe comuni che vivono nell’Atlantico, sono state estrapolate e confrontate, per una lunghezza di carapace maggiore di 60 cm (taglia a cui la maggior parte delle tartarughe comuni abbandonano la zona oceanica), le funzioni di crescita taglia-specifiche per lo stadio oceanico, con quelle dello stadio giovanile. Da questo confronto, e da ulteriori supporti forniti dagli studi sui tassi di crescita basati sulla scheletocronologia (Snover et al. 2000), è stato evidenziato che il tasso di crescita è maggiore nello stadio neritico piuttosto che in quello oceanico, fornendo quindi una spiegazione evolucionistica al perché avviene tale transizione.

Le modalità e i tempi con cui avviene questo importante shift di ambiente di sviluppo, sono quasi del tutto ignoti, così come sono sconosciuti i movimenti tra i due ambienti che le tartarughe compiono in questa fase e che dovrebbero essere di notevole estensione (vedi anche dopo).

Lo stadio di giovanile neritico e lo stadio adulto di foraggiamento

Dopo alcuni anni di vita pelagica, avviene il reclutamento dei giovani della maggior parte delle specie di tartarughe comuni, all'interno delle aree neritiche. Lo stadio giovanile neritico e quello adulto di foraggiamento, hanno entrambi luogo, nella maggioranza dei casi, in zone neritiche. Tuttavia, sebbene sia frequente osservare una condivisione nell'habitat (in questo contesto appunto acque basse e spesso costiere) tra giovani e adulti, e quindi trovare giovani e adulti che sfruttano le medesime zone di foraggiamento, vi sono pure casi in cui, tale fenomeno non si verifica. In questi casi i giovani frequentano specifiche aree giovanili, definite anche aree di foraggiamento intermedie, e solo in un secondo momento si sposteranno in differenti siti di foraggiamento per adulti (Musick e Limpus, 1997).

Inoltre, in alcuni casi, come ad esempio nelle aree temperate, non è presente un unico sito di foraggiamento giovanile e adulto spazialmente definito, ma possono avvenire spostamenti stagionali tra varie aree, mostrando quindi differenti pattern temporali di movimento. Tale fenomeno invece non si osserva nelle aree tropicali (Bolten 2003).

Nei casi meglio conosciuti, è stato poi osservato che questi habitat di sviluppo secondari si trovano spesso più vicini alle spiagge in cui le singole tartarughe sono nate (e dove probabilmente andranno a riprodursi), piuttosto che all'habitat di accrescimento pelagico. I giovani quindi si ritiene che debbano raggiungere queste zone a seguito di movimenti diretti a lunga distanza, sfruttando anche di correnti favorevoli, ma dovendo in certi casi controbilanciare l'azione di deriva delle correnti stesse per dirigersi verso una specifica meta (Nichols et al.2000, Polovina et al.2000).

Sebbene soprattutto negli ultimi anni, con lo sviluppo di strumenti elettronici miniaturizzati e della telemetria satellitare siano stati fatti progressi nella comprensione dei vari stadi del ciclo vitale delle tartarughe, lo stadio giovanile rimane tutt'ora poco conosciuto, e le poche informazioni disponibili derivano quasi completamente da esperimenti di telemetria con giovani catturati accidentalmente in precedenza (ad esempio con l'attività di pesca), e rilasciati dopo riabilitazione (Bentivegna et al.2005, Polovina et al.2000).

Migrazione riproduttiva

Il comportamento migratorio delle tartarughe marine adulte è assai meglio conosciuto rispetto a quello giovanile, grazie ad un numero sempre maggiore di informazioni sui movimenti migratori di molte popolazioni di tartaruga, provenienti dalla telemetria satellitare (Luschi et al. 2003).

Nella maggior parte dei casi, sono state seguite femmine durante le migrazioni post-riproduttive dalle spiagge di nidificazione (ad es. Balazs et al. 1994, Luschi et al. 1998, Cheng 2000, Nichols et al. 2000, Polovina et al. 2000), mentre in pochi casi si hanno informazioni circa i viaggi effettuati dalle femmine in direzione opposta, dai siti di foraggiamento residenziali verso le spiagge di nidificazione (Beavers et al. 1996, Hays et al. 2001b).

Sebbene sia emerso un ampio grado di variazione, persino all'interno della stessa specie o popolazione, sono evidenti due principali pattern di movimenti.

Subito dopo aver lasciato le spiagge di nidificazione, alcune specie (come le tartarughe verdi, e le tartarughe comuni) si spostano verso una precisa area di foraggiamento, generalmente situata in ambiente neritico, dove stazionano per lunghi periodi, probabilmente per l'intero periodo inter-riproduttivo (Balazs et al. 1994, Luschi et al. 1996, Hays et al. 2001a). Nelle specie oceaniche come la *Lepidochelis olivacea* o la tartaruga liuto, invece, gli adulti, una volta abbandonata l'area di nidificazione non ricercano specifici siti residenziali, ma spesso si muovono tra la costa e l'ambiente pelagico, mostrando un comportamento di "vagabondaggio" non diretto verso un punto preciso (Plotkin et al. 1995, Beavers et al. 1996, Morreale et al. 1996, Hughes et al., 1998).

All'inizio della successiva stagione riproduttiva gli adulti appartenenti a entrambi i gruppi lasciano gli habitat di foraggiamento, per migrare nuovamente verso le aree di riproduzione. Queste migrazioni cicliche di andata e ritorno tra definite aree di foraggiamento e di riproduzione, generalmente avvengono su scala minore rispetto ai movimenti oceanici dei giovani, anche se non mancano casi di migrazioni di centinaia o migliaia di chilometri. La motivazione è probabilmente da ricercare nel fatto che questi viaggi vengono effettuati con una frequenza di pochi anni (dal momento in cui i cicli riproduttivi variano da 2 a 4 anni), e pertanto sarebbe

controproducente sprecare troppa energia e tempo. In questi casi, perciò le tartarughe mirano a raggiungere i loro siti di foraggiamento con il minimo dispendio energetico possibile, nuotando attivamente per raggiungere la loro destinazione.

Queste migrazioni spesso avvengono lungo costa (Luschi et al. 1996, Papi et al. 1997), sebbene non sia raro osservare lunghi spostamenti attraverso zone oceaniche, prima di raggiungere i loro obiettivi, soprattutto (ma non solo) quando la loro destinazione è un'isola (Balazs 1994, Luschi et al. 1996, 1998, Cheng 2000).

La spiaggia in cui le femmine vanno a nidificare dopo l'accoppiamento, spesso coincide con quella in cui sono nate decine di anni prima. Tale fenomeno è noto come "*natal homing*" (Lohmann et al. 1997), ed è supportato da numerose ricerche di tipo genetico: analisi del DNA mitocondriale di tartarughe in nidificazione hanno dimostrato che effettivamente le femmine adulte ritornano a nidificare in prossimità o sulla stessa spiaggia in cui sono nate (Bowen et al., 1997).

In merito all'accoppiamento, non è noto con precisione il momento in cui questo avvenga e quindi dove le femmine vengono fecondate. Questo perché, sebbene l'accoppiamento si verifichi prevalentemente nelle acque antistanti le spiagge di nidificazione, viene ritenuto possibile che le femmine possano immagazzinare gli spermatozoi per lungo tempo, e che quindi le uova deposte in una data stagione possano essere state fecondate in accoppiamenti precedenti, ad esempio alle aree di foraggiamento o anche durante la migrazione pre-riproduttiva. (Carr. et al, 1978).

1.2.2 Le tartarughe comuni del Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo copre un'area di circa 2.5 milioni di km², con una linea di costa di circa 46.000 km. La profondità media è di 1495m e si hanno due fosse: una nel Tirreno (3625m) ed una nello Ionio di 5942m. Il Mediterraneo è approssimativamente diviso in due bacini, occidentale ed orientale, connessi dal canale di Sicilia e lo stretto di Messina.

Dal punto di vista oceanografico, il Mediterraneo viene considerato un bacino di evaporazione, poiché gli apporti fluviali e le precipitazioni non sono in grado di bilanciare il deficit delle acque perdute per evaporazione. Se il Mediterraneo ancor

oggi non è divenuto un “Mar Morto”, privo cioè di alcun flusso di acqua in entrata, il merito è da attribuirsi allo stretto di Gibilterra.

La presenza di un dislivello di 15 cm tra il bacino del Mediterraneo e l’Atlantico, nonché la differenza delle masse d’acqua in termini di salinità e temperatura (circolazione termoalina), giocano un ruolo fondamentale nel determinare il movimento delle acque attraverso lo stretto di Gibilterra. L’acqua atlantica meno salata e meno densa entra da Gibilterra posizionandosi a livello superficiale nei primi 100-150 m della colonna d’acqua, e fluisce in una serie di giri ciclonici e anticiclonici, fino al momento in cui, per effetto dell’evaporazione, si verifica un aumento di salinità. Si ha la formazione quindi delle acque profonde levantine, che fluiscono al di sotto dell’acqua atlantica, e fuoriescono dallo stretto di Gibilterra.

La tartaruga comune rappresenta la specie più comune nel Mar Mediterraneo, ed ha una distribuzione che si estende in tutto il bacino, sebbene i siti di nidificazione siano confinati prevalentemente nell’area orientale (Margaritoulis *et al.*, 2003).

Si ritiene che la colonizzazione del Mediterraneo da parte delle tartarughe comuni sia avvenuta circa 12000 anni fa, a seguito della dispersione geografica di individui appartenenti alle colonie nidificanti nell’Atlantico occidentale (Bowen *et al.* 1993). Recenti studi genetici hanno dimostrato però che, sebbene sia tutt’ora presente un contingente di tartarughe migranti dall’Atlantico, la popolazione mediterranea di *Caretta caretta* è riproduttivamente isolata e presenta una chiara struttura demografica, con molteplici sub-popolazioni differenziate geneticamente, in relazione al sito di nidificazione (Bowen *et al.*, 1993). L’analisi del DNA mitocondriale delle tartarughe catturate in mare e/o spiaggiate lungo le coste Mediterranee, ha comunque rivelato che gli individui appartenenti alle diverse popolazioni nidificanti, sia atlantiche che mediterranee, sono entrambi presenti all’interno del bacino in proporzioni variabili in funzione della località (Maffucci *et al.*, 2006; Carreras *et al.*, 2006).

Una delle principali variazioni morfologiche geografiche della tartaruga comune nel Mediterraneo, interessa la taglia corporea degli individui nidificanti, che è nota essere significativamente minore rispetto a quella in altre parti del mondo (Broderick *et al.*, 1996; Margaritoulis 1982, 1988b).

I siti di nidificazione sono localizzati principalmente nel Mediterraneo centro-orientale e più precisamente in Grecia, Turchia, Cipro e Libia (con un numero di nidi che va da circa 600 a Cipro, ad oltre 3000 in Grecia). Un minor numero di nidi sono stati identificati lungo le coste della Tunisia, Egitto, Israele, Siria e Libano (Margaritoulis *et al.*, 2003). In Italia la nidificazione è limitata alla zona meridionale continentale e insulare e principalmente in due siti: la spiaggia dell'Isola dei Conigli, sita in Lampedusa e quella di Pozzolana di Ponente a Linosa, dove, nell'insieme, si registrano non più di 6-7 nidi l'anno (Balletto *et al.* 2003). Recentemente è stata evidenziata una regolare attività di deposizione lungo le coste più meridionali della Calabria ionica e in particolar modo nei pressi di Reggio Calabria, che probabilmente costituisce attualmente l'area di nidificazione principale delle tartarughe comuni in Italia (Mingozzi *et al.*, 2006). Ulteriori sporadici eventi di nidificazione sono documentati in altre zone dell'Italia meridionale, quali le coste centrali della Sicilia meridionale, della Campania, della Sardegna meridionale e sud-occidentale e della Puglia orientale (Mingozzi *et al.*, 2006; Bentivegna *et al.*, 2005).

Gli adulti che nidificano nei territori riproduttivi greci utilizzano come aree di foraggiamento le acque tunisine del Golfo di Gabès, o quelle del Mar Adriatico, nella porzione settentrionale. Analizzando dati provenienti da esperimenti di cattura-marcatura-ricattura, è stato difatti osservato che molte femmine adulte marcate in Grecia durante la stagione riproduttiva, vengono ritrovate nelle acque poco profonde del Golfo di Gabès ad est della Tunisia, dove presumibilmente rimangono fino all'inizio della successiva stagione riproduttiva. In modo analogo, grazie a diverse ricerche condotte su femmine adulte marcate nei territori riproduttivi in Grecia, in Turchia e a Cipro, hanno evidenziato che anche il Mar Adriatico, si presenta come habitat neritico ottimale per gli adulti di tartaruga comune (Margaritoulis *et al.* 2003). In questo caso, la motivazione è da ricercare nella complessità della circolazione delle masse d'acqua all'interno nel Mar Adriatico. La geografia del territorio circostante la parte settentrionale del bacino adriatico è caratterizzata dalla presenza di un numero elevato di fiumi di portata rilevante, i quali, apportando in mare grandi quantità di acque dolci, determinano una diminuzione della salinità delle acque marine. La presenza di masse di acqua a ridotta salinità nel bacino settentrionale

(unitamente al moto di rotazione della Terra e dei venti) determinano un afflusso attraverso il Canale di Otranto di acqua più salata e calda di origine levantina (negli strati superficiale e soprattutto intermedio) che risale il bacino essenzialmente lungo la costa orientale originando un sistema di circolazione ciclonica con fenomeni di upwelling. Tali apporti sono compensati da un deflusso di acqua più fredda e densa, che dal bacino settentrionale, a causa del raffreddamento repentino delle acque nella stagione fredda, scorre verso sud, costeggiando le coste occidentali adriatiche. Nella medesima zona anche la temperatura ha un andamento caratteristico, soprattutto nell'area a sud della penisola d'Istria, dove durante il periodo invernale sono presenti temperature che oscillano tra i 12.5 ed i 13.5°C, per quanto alla stessa latitudine, sulla costa occidentale, la temperatura si aggira attorno agli 8°C (Zavatarelli et al. 2003).

La presenza di upwelling (e quindi la risalita di acque profonde ricche di nutrienti), e la temperatura relativamente alta nella stagione fredda, assieme alla presenza di ambienti neritici, sono estremamente importanti nel determinare l'aggregazione di tartarughe comuni in queste aree (Rachev et al.2000).

Per quanto riguarda i giovani di *Caretta*, all'interno del Mediterraneo, sono distribuiti ampiamente in entrambi i bacini, orientale ed occidentale. Studi effettuati utilizzando dati provenienti dal recupero di esemplari marcati, hanno evidenziato come parte degli esemplari giovani del bacino orientale del Mediterraneo, sfruttino le medesime aree di foraggiamento utilizzate dagli adulti, situate nel Golfo di Gabes e nell'Adriatico (Margaritoulis et al.2003). Questa corrispondenza di habitat si verifica tuttavia solo per gli individui giovani che provengono da colonie nel Mediterraneo, mentre non è stata osservata per i giovani provenienti da colonie dell'Atlantico, che invece si distribuiscono nel mare d'Alboran in corrispondenza delle isole Baleari (Laurent et al. 1998).

Il Golfo di Gabes, situato al confine con il bacino occidentale e caratterizzato da temperature elevate e subtropicali, è un noto habitat neritico di foraggiamento per le tartarughe comuni adulte, sebbene presenti anche una cospicua aggregazione di giovani individui, come dimostrato da studi sulla ricattura di individui catturati e marcati precedentemente nel Mar Ionio (Argano et al.1992). Risultati analoghi sono

stati ottenuti da ricerche svolte in Tunisia (Laurent et al.1994), le quali hanno avvalorato l'ipotesi che questi habitat neritici di foraggiamento siano condivisi da parte di giovani e adulti. Fenomeno simile, si verifica anche nel Mar Adriatico, in cui un progetto italiano del WWF (Argano et al. 1992) ha infatti evidenziato la presenza di giovani di tartaruga comune provenienti dalle colonie mediterranee, nella porzione settentrionale del Mar Adriatico.

Inoltre, è stato osservato che i giovani, risentendo meno delle basse temperature, rimangono nell'Adriatico settentrionale anche durante i mesi invernali, mentre gli adulti, che risiedono in queste zone soprattutto durante l'estate, nei periodi invernali migrano verso sud, in cerca di acque più calde. Ciò sembra dimostrato dal numero maggiore di catture dei giovani rispetto agli adulti durante i mesi freddi. Tuttavia, è possibile che la differenza stagionale nel numero di catture sia parzialmente dovuta ad un maggiore livello di vulnerabilità a basse temperature delle tartarughe, le quali sembrano più lente nell'evitare le reti, rispetto a quando si trovano a temperature più elevate (Musik et al.1992).

La provenienza dei giovani che frequentano l'Adriatico non è nota con certezza, sebbene si possa ipotizzare che, proprio come quanto si osserva per gli adulti, la maggior parte di questi provenga dalla popolazione nidificante in Grecia. A supporto di questa ipotesi c'è la vicinanza effettiva di queste spiagge alle aree di foraggiamento adriatiche, e la presenza delle correnti superficiali dell'area Ionio-Adriatica sopra discussi.. Non si può tuttavia escludere che anche giovani provenienti da altri territori riproduttivi frequentino queste aree.

1.3 Scopo della tesi

Obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di investigare uno dei periodi meno conosciuti del ciclo vitale delle tartarughe comuni mediterranee, ovvero il periodo giovanile.

Come già ampiamente discusso, le poche informazioni attualmente disponibili su quali siano gli spostamenti dei giovani all'interno del bacino del Mediterraneo, derivano da esperimenti di cattura, marcatura e ricattura, che ovviamente consentono

di ottenere informazioni molto generali sugli spostamenti e quindi non forniscono un quadro dettagliato del fenomeno. Questa mancanza di informazioni necessarie per comprendere le modalità di migrazione delle tartarughe comuni impedisce anche, a fini pratici, l'attuazione di progetti volti a proteggere questa specie durante questa importante fase giovanile (Luschi 2003).

In tale contesto, l'utilizzo della telemetria satellitare può rivelarsi un ottimo strumento di analisi per indagare i movimenti migratori delle tartarughe comuni, anche in fase giovanile, permettendo di ricostruire le rotte con buona accuratezza, di ottenere informazioni di base sul comportamento degli animali durante questi movimenti, nonché di studiare le relazioni esistenti tra determinati pattern comportamentali ed i parametri fisico-chimici dell'ambiente frequentato dalle tartarughe.

In questo lavoro sono stati presi in considerazione cinque esemplari di giovani di tartaruga comune catturati accidentalmente da pescherecci, riabilitati da appositi centri di recupero e rilasciati in tre differenti zone del Mar Mediterraneo: nel Mar Adriatico, nel Mar Tirreno e nel canale di Sicilia, nei pressi di Lampedusa. Avere a disposizione individui dislocati in differenti aree del Mediterraneo ha rappresentato un punto molto importante, poiché ci ha permesso di confrontare i pattern comportamentali esibiti da questi animali in aree differenti sia dal punto di vista geografico che dal punto di vista ecologico. Inoltre, è noto che l'area del Golfo di Gabès ed il Mar Adriatico sono habitat neritici ottimali di foraggiamento sia per giovani che adulti di tartaruga comune (Margaritoulis et al. 2003), e quindi assume ancora più importanza avere la possibilità di studiare in modo completo il comportamento esibito da queste giovani tartarughe nel corso dei loro spostamenti in queste importanti aree.

Gli animali, equipaggiati con trasmettitori satellitari connessi col sistema Argos, sono stati seguiti per un periodo compreso tra i 4 e gli 11 mesi. I dati di localizzazione giornalieri ottenuti dai satelliti Argos sono stati analizzati e filtrati sulla base di apposite procedure, fino ad ottenere un set di dati affidabile con cui ricostruire le rotte seguite da questi animali. In modo analogo, sono stati elaborati i dati inviati dalle trasmettenti sul comportamento di immersione. Tutte queste

informazioni sono state quindi integrate con dati di remote sensing, ottenuti da database in rete, relativi a variabili ambientali delle aree frequentate dalle tartarughe come la temperatura superficiale dell'acqua e la concentrazione di clorofilla.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Soggetti di studio

In questo studio sono stati presi in considerazione i movimenti di cinque esemplari di tartaruga comune (*Caretta caretta*), catturati accidentalmente da pescherecci in tre differenti aree del Mediterraneo (Lampedusa, Livorno e Rimini), riabilitati da appositi centri di recupero e successivamente equipaggiati con trasmettenti connessi al sistema satellitare Argos (Taillade 1992, 1998; French 1994). Tutti gli individui sono stati rilasciati non lontano dai rispettivi siti di ritrovamento, e sono stati seguiti per un periodo variabile dai 4 agli 11 mesi, dopo la data del rilascio.

Liberty

Liberty è il primo dei quattro esemplari di tartaruga comune presi in considerazione in questo lavoro.

E' stata recuperata nel porto di Ancona il 23 aprile 2006, con una seria infezione batterica in atto nella cavità nasale. Grazie alla visita veterinaria è stato possibile determinare il sesso dell'animale, una femmina, e dalla misurazione della lunghezza del carapace dell'animale, circa 60 cm, è stato possibile ipotizzare di trovarsi innanzi ad un individuo in stadio giovanile avanzato.

Trasferita "all'ospedale delle tartarughe" gestito dalla Fondazione Cetacea a Rimini, Liberty è rimasta in cura per un periodo di tre mesi, al termine del quale aveva recuperato completamente la capacità di nutrirsi autonomamente. Il 22 luglio 2006, Liberty è stata trasportata con un'imbarcazione a circa 15 km dalla costa romagnola (44°10'N; 12°43'E), dove è stata rilasciata alle 18:00, ora locale (Tab. 2.1; Tab. 3.1).

Aphrodite, Esaco e Union

Gli esemplari di tartaruga comune recuperati attorno all'isola di Lampedusa tra febbraio e marzo 2007, ed utilizzati nel presente studio sono tre. Sono stati tutti ospitati presso il Centro di Recupero Tartarughe Marine del WWF.

Aphrodite (Fig. 3.2) ed Esaco (Fig. 3.6) sono due individui giovani catturati il 26 febbraio 2007 nei pressi di Lampedusa, rispettivamente a 50 e 30 Nm a SE dell'isola. Ospitate dal centro di recupero, sono state rilasciate in perfetta salute da Cala Madonna (35°30'N; 12°35'E), nella porzione occidentale dell'isola, il 6 marzo 2007 (Fig. 3.3; Fig. 3.5; Tab. 2.1).

L'ultimo dei tre esemplari rilasciati da Lampedusa per questo studio, è una giovane tartaruga catturata 6 miglia a sud est dell'isola di Lampedusa, il 22 marzo 2007. Come le sue due coetanee, è stata ospitata dal centro del WWF per una breve riabilitazione, prima di essere nuovamente rilasciata in mare.

Il 25 marzo, giorno del cinquantenario dell'Unione Europea, il giovane animale è stato trasportato a Cala Pisana, spiaggia a nord est dell'isola (35°50'N; 12°37'E), dove ha preso il largo alle 15.15, ora locale. Proprio per celebrare questo speciale evento, la giovane tartaruga è stata chiamata Union (Fig. 3.6; Tab. 2.1).

Emiliano

Emiliano è un giovane catturato a Livorno il 1 dicembre 2006 e ospitato dal Centro di Recupero Tartarughe Marine dell'Acquario di Livorno. Il 10 maggio 2007, è stato portato sulla spiaggia di Calambrone (PI), dalla quale ha preso il largo alle 10.50, ora locale (43°36'N; 10°17'E) (Tab. 2.1).

<i>Tartaruga</i>	<i>Stage</i>	<i>CCL (cm)</i>	<i>Sito di rilascio</i>	<i>Data di rilascio</i>
<i>Liberty</i>	giovane	60	Rimini (RI)	22/07/2006
<i>Aphrodite</i>	giovane	55	Cala Madonna (Isola di Lampedusa)	06/03/2007
<i>Esaco</i>	giovane	57	Cala Madonna (Isola di Lampedusa)	06/03/2007
<i>Union</i>	giovane	54.5	Cala Pisana (Isola di Lampedusa)	22/03/2007
<i>Emiliano</i>	giovane	52.0	Calambrone (PI)	10/05/2007

Tabella 2.1 Informazioni generali sulle 5 tartarughe comuni seguite con telemetria satellitare negli anni 2006-2007. CCL: Curved Carapace Length.

2.2 Tracking satellitare

Lo studio di animali che compiono estesi movimenti migratori, attraversando aree inaccessibili all'uomo, implica evidenti difficoltà tecniche e logistiche. Ciò nonostante sono state trovate differenti soluzioni che permettono di ottenere informazioni dirette o indirette su tali movimenti.

Uno dei metodi di base utilizzati per indagare gli spostamenti di una determinata specie animale si basa sull'applicazione in animali catturati, di contrassegni individuali, quali anelli, targhette, o anche *transponder* magnetici impiantati sottocute, e sul successivo rilascio e ritrovamento degli animali stessi (tecnica della cattura–contrassegno– ricattura). Tale metodo è tuttavia poco efficiente, poiché la percentuale degli esemplari ricatturati è di solito molto bassa.

Lo sviluppo di strumenti elettronici miniaturizzati ha permesso di immettere in memorie elettroniche notevoli quantità di dati fisiologici e, talora, anche parametri fisici ambientali (temperatura, pressione, luminosità) registrati tramite sensori di vario genere (Cooke et al. 2004). In questo modo i movimenti degli animali possono essere correlati con la situazione ambientale e fisiologica. Il metodo presuppone però il recupero delle memorie degli apparecchi, salvo il caso in cui i dati memorizzati possano essere trasmessi via radio.

Un enorme passo avanti è stato fatto grazie allo sviluppo della telemetria satellitare, attraverso la quale satelliti in orbita polare possono ricevere le emissioni delle radio trasmettenti applicate agli animali ed interfacciate con un numero limitato di apparecchi registratori, calcolarne la posizione geografica in base all'effetto Doppler e trasmettere a terra i dati relativi.

L'impiego della telemetria satellitare in campo zoologico risale ai primi anni '90. I primi animali utilizzati come soggetti di studio sono stati tartarughe marine (Stoneburner, 1982; Renaud e Carpenter, 1994; Plotkin et al., 1995; Gitschlag, 1996), albatross (Jouventin e Weimerskirch, 1990), pinguini (Hull et al., 1997) e foche (McConnel e Fedak, 1996).

Negli animali acquatici la trasmissione avviene solo quando l'animale affiora, mentre in immersione l'apparecchio rimane silente per risparmiare l'energia delle batterie.

Tra i maggiori inconvenienti della telemetria satellitare vi sono la discontinuità nelle localizzazioni e, spesso, l'imprecisione dei dati forniti.

Il sistema utilizzato per il tracking satellitare è il sistema Argos, nato alla fine degli anni '70 mediante un accordo tra il CNES (Centre National d'Etudes Spatiales, agenzia spaziale francese), la NASA (National Aeronautics and Space Administration, USA) e la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). Negli ultimi anni anche l'agenzia spaziale giapponese NASDA e l'EUMETSAT (European Meteorological Satellite Organization) si sono unite a questa cooperativa internazionale.

Argos comprende attualmente sette satelliti in orbita polare, che sono in grado di localizzare qualsiasi animale o oggetto inanimato, dotato di un trasmettitore satellitare (denominato PTT, Platform Transmitter Terminal), ovunque si trovi sulla Terra. Esso può inoltre raccogliere dati ambientali grazie a sensori annessi ai trasmettitori stessi (Taillade 1992).

I satelliti della rete in orbita polare (Polar Orbiting Environmental Satellites) si trovano ad una quota di circa 850 km, e sono in grado di captare anche segnali deboli ($< 1\text{W}$ in uscita). I satelliti si muovono attorno alla Terra dal polo nord al polo sud, garantendo una copertura pressoché totale della superficie terrestre (Fig. 2.1).

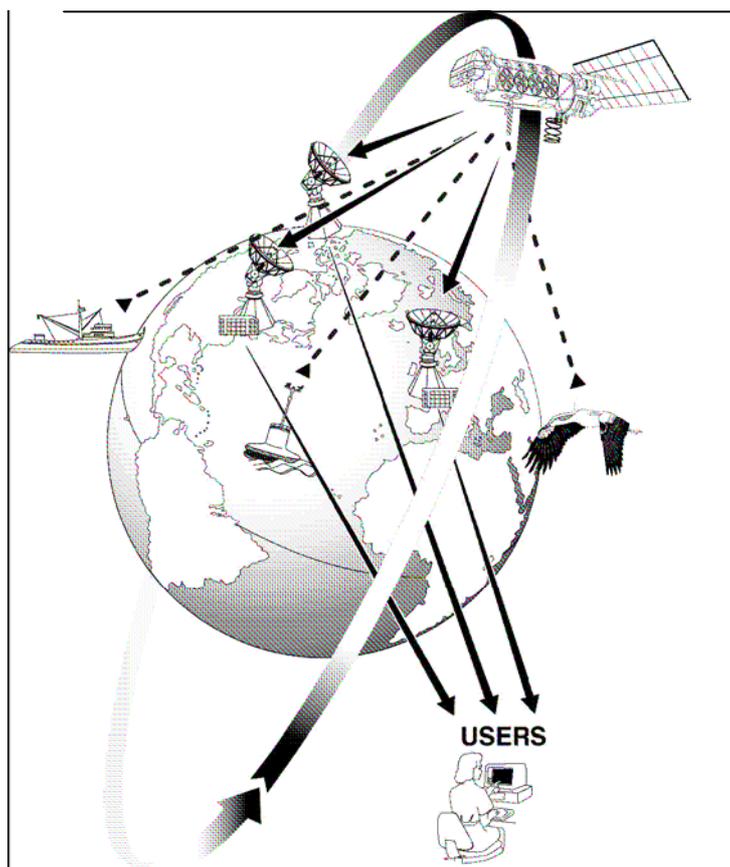


Figura 2.1 Schema del funzionamento della rete Argos. Con le linee tratteggiate vengono indicati i segnali inviati dalle trasmissioni ai satelliti in orbita. Le frecce continue indicano il percorso delle informazioni ricevute dal satellite, inviate alle stazioni di ricezione a terra e rese successivamente disponibili agli utenti.

Ogni satellite completa una rivoluzione attorno alla Terra in circa 100 minuti, coprendo ad ogni passaggio una fascia di 5000 km di diametro. Ad ogni rivoluzione intorno alla Terra il satellite ruota la propria orbita di circa 25° rispetto a quella descritta precedentemente spazzando aree contigue e sovrapposte per 2100 km (ARGOS 1992).

Come conseguenza dell'orbita polare, il numero di passaggi che un singolo satellite effettua giornalmente sopra uno stesso punto della superficie terrestre incrementa all'aumentare della latitudine: si passa da circa 6-7 passaggi sull'equatore ai 14 passaggi in corrispondenza dei poli.

L'intervallo di tempo entro il quale il trasmettitore risulta visibile dal satellite (overpass), e può pertanto avvenire il contatto tra quest'ultimo ed il PTT, è di circa

10 minuti. E' grazie alla ricezione di questo segnale che può poi avvenire la localizzazione.

La trasmissione del segnale radio da parte del PTT avviene ogni 50-200 secondi con una frequenza nominale stabile attorno ai 401.650 MHz (banda UHF; Ultra High Frequency). I segnali registrati dai satelliti vengono inviati a diciotto stazioni a terra (in USA, Canada, Australia, Nuova Zelanda, Francia, Antartide, sud Africa, Giappone, Perù) che hanno il compito di trasmetterli ad una delle tre principali stazioni di ricezione situate a Wallops Island in Virginia (USA), a Fairbanks in Alaska (USA) e a Lannion in Francia. I dati dal satellite vengono trasferiti in tempo reale ai Centri di Processamento Globale a Landover (MD, USA) e a Tolosa in Francia, e sottoposti ad una prima elaborazione che consiste nell'identificazione del numero del PTT, nell'ordinamento cronologico dei dati, nella localizzazione della sorgente del segnale e nell'estrazione delle informazioni fornite dai sensori. Infine, i risultati vengono resi disponibili agli utenti attraverso la rete informatica (ARGOS 1992).

La localizzazione avviene attraverso complesse metodiche basate sull'effetto Doppler, a partire dal confronto della frequenza del segnale ricevuto, con la frequenza nominale di $401.650 \text{ MHz} \pm 4\text{kHz}$ del PTT. L'entità della differenza nella frequenza di trasmissione, che deriva dal movimento relativo del satellite rispetto al PTT, permette di stabilire la distanza del trasmettitore dal satellite e consente quindi, essendo noto il movimento del satellite e l'altezza rispetto alla trasmittente, di determinare la posizione della trasmittente e quindi dell'animale che la porta. La posizione del trasmettitore viene stabilita solo a seguito della ricezione di almeno due segnali durante un singolo passaggio del satellite, anche se buone localizzazioni si hanno solo con 4 o più contatti successivi.

Ogni localizzazione così ottenuta è caratterizzata da una differente accuratezza che dipende da alcuni parametri tra cui il più importante è il numero di contatti registrati durante un singolo passaggio del satellite. Argos automaticamente classifica le localizzazioni (*fixes*) ottenute suddividendole in sei classi di accuratezza (Tab. 2.2) che vengono stimate in funzione del numero dei segnali ricevuti, della loro stabilità in frequenza e qualità generale.

CLASSI DI ACCURATEZZA	
Classe (LC)	Accuratezza stimata in latitudine e longitudine
3	≤ 150
2	150 metri < accuratezza < 350 metri
1	350 metri < accuratezza < 1000 metri
0	>1000 metri
A	Non disponibile
B	Non disponibile
Z	Localizzazione non valida

Tabella 2.2 Classi di accuratezza assegnati da Argos alle localizzazioni. Argos assegna una classe di localizzazione (LC) solo a quei fixes ottenuti dalla ricezione di almeno 4 messaggi dal PTT, negli altri casi (classi A e B) quando sono ricevuti 2 o 3 messaggi viene stabilita la localizzazione, ma il grado di accuratezza non viene stimato. Con Z vengono indicate le localizzazioni non valide. Da ARGOS User Manual (1992).

Per lo studio degli organismi marini (tra cui le tartarughe marine) sono stati sviluppati modelli di PTT adatti a resistere ad alte pressioni idrostatiche. Inoltre, poiché il processo di localizzazione Argos si basa sulla valutazione precisa di piccoli cambiamenti di frequenza nel segnale, non è possibile utilizzare segnali che provengono al di sotto della superficie dell'acqua. Siccome le trasmissioni efficaci sono quelle effettuate al momento dell'emersione, vengono utilizzati PTT dotati di interruttori (*salt water switch*), i quali, chiudendo il circuito quando l'animale è in immersione, impediscono le trasmissioni e permettono di prolungare l'autonomia delle batterie.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati modelli di trasmettenti sempre più conformi a questi organismi. Nel caso delle tartarughe marine, i PTT oggi esistenti sono stati costruiti in modo da esercitare una minima resistenza idrodinamica (Watson & Granger 1998), nonché il minimo ingombro, in relazione alla taglia delle tartarughe (Fig. 2.2).

Anche il metodo comunemente utilizzato per il fissaggio dello strumento sulle specie con carapace osseo (come la *Caretta caretta*), risulta non invasivo e sicuro per la salute.

Per assicurarsi che la trasmittente resti attaccata al carapace della tartaruga, è necessario che quest'ultimo venga accuratamente preparato prima dell'applicazione dello strumento. Con l'ausilio di un bisturi, vengono rimosse tutte le incrostazioni e gli organismi presenti sul carapace, e successivamente l'area di interesse viene ulteriormente levigata con della carta vetrata a grana grossa. A questo punto viene lavato il carapace, si eliminano gli ultimi residui di grasso utilizzando dell'acetone, e si può andare ad incollare lo strumento. Comunemente vengono utilizzati vari tipi collanti come ad esempio resine epossidiche o strati di fibra di vetro (Liew et al. 1995, Balazs et al. 1996, Papi et al. 1997, Godley et al. 2002).



Figura 2.2 Esempi di PTT utilizzati per le tartarughe marine.

2.3 Elaborazione dati

2.3.1 Ricostruzione delle rotte

L'informazione elementare per la ricostruzione della rotta di un individuo è rappresentata dalla localizzazione. Come già detto sopra, il numero di contatti registrati durante un singolo passaggio del satellite caratterizza l'accuratezza della localizzazione stessa (Tab. 2.2), sebbene ne siano necessari almeno due affinché sia possibile determinare le coordinate geografiche in cui si trova l'animale.

I dati inviati dai PTT, e resi disponibili dalla società Argos attraverso la rete informatica, vengono inviati come file .txt, al cui interno sono contenute sotto forma di stringhe numeriche, le localizzazioni (fixes) e le informazioni dei sensori raccolte negli ultimi quattro giorni (Fig. 2.3).

```
01201 44785 9 6 N 0 2007-04-24 00:57:15 36.689 11.534 0.000 401643286
2007-04-24 00:56:50 3 00 00 58 3281 337 57
```

Figura 2.3. Esempio di fixes (stringa numerica di localizzazione) contenuto nei file originali Argos

Grazie al numero identificativo della trasmittente, è possibile selezionare i fixes riguardanti le tartarughe interessate, e creare dei singoli file per ogni animale.

Il punto di partenza per l'elaborazione dei dati, successivo alla loro raccolta, consiste quindi in una tabella in formato elettronico, al cui interno sono contenute tutte le informazioni disponibili per ogni spostamento effettuato dall'animale, dal momento del rilascio, all'ultima localizzazione utile.

Ogni dato di localizzazione ottenuto, è caratterizzato da una differente classe di accuratezza (Tab. 2.2), che sarà tanto maggiore quanto maggiori saranno il numero di contatti avvenuti tra PTT e satellite da cui quella data localizzazione è stata ottenuta.

Diventa pertanto necessario, per la ricostruzione delle rotte, effettuare un'accurata filtrazione dei dati ottenuti da Argos, valutando la bontà di ogni singolo dato, e procedendo con l'eliminazione di quelli chiaramente erranei.

A questo scopo è stata calcolata la distanza in chilometri tra localizzazioni successive, grazie ad una formula che, a partire dalle coordinate geografiche e considerando la curvatura della terra, restituisce come risultato la lunghezza del tratto percorso. Dopodiché è stata calcolata la velocità di spostamento delle tartarughe, effettuando il rapporto tra questa distanza tra localizzazioni successive, ed il tempo che intercorre tra le stesse.

Come già operato in precedenti studi (Luschi et al.1998), è stata deciso di effettuare la filtrazione dei dati a partire dai valori di velocità. Sono stati pertanto filtrati i fixes con grado di accuratezza maggiore (LC 1, 2 e 3) scartando quelli che derivavano da localizzazioni avvenute ad una distanza di tempo inferiore ai 30 minuti. A questo punto è stata individuato il valore più alto di velocità, il quale (con un'ulteriore aggiunta del 20% per considerare un range di errore) è stato adottato come valore soglia da utilizzare nel successivo processo di filtraggio dei dati. In base a tale valore, sono state pertanto scartate tutte le localizzazioni che implicavano una velocità di spostamento superiore, eliminando il dato di minore qualità nel momento in cui è stato necessario operare una scelta.

Con le localizzazioni così ottenute, e con l'ausilio di appositi software grafici (Sigma Plot 8.0 e Maptool), sono state ricostruite le rotte.

Tali software, a seguito dell'immissione delle coordinate corrispondenti ad ogni localizzazione, sono in grado di ricostruire, attraverso un insieme di segmenti rettilinei che uniscono fixes tra loro successivi in ordine temporale, il percorso complessivo seguito dalle tartarughe.

Data la notevole quantità di dati, è stato deciso di dividere in tratti le rotte, utilizzando come parametro distintivo il cambiamento di direzione o il differente pattern comportamentale (come stazionare in un area circoscritta o spostarsi in una precisa direzione). A partire dai tratti, sono stati quindi calcolati i valori medi delle variabili a nostra disposizione, al fine di poter determinare in seguito l'esistenza di eventuali trend comuni utili all'interpretazione della rotta stessa.

2.3.3 Analisi dei dati di immersione

Ogni volta che la tartaruga emerge per respirare e si verifica il contatto della trasmittente con il satellite, oltre ai dati di localizzazione possono essere raccolte due tipologie di dati. Le localizzazioni stimate dal satellite sfruttando l'effetto Doppler e la frequenza nominale della trasmittente, ed una serie di importanti informazioni sul comportamento di immersione.

Infatti i PTT utilizzati nel presente esperimento sono in grado di registrare la durata massima, la durata media, ed il numero delle immersioni effettuate ad intervalli di tempo regolari stabiliti a priori, nonché la temperatura interna del trasmettitore. La raccolta di questo tipo di informazione è possibile poiché ogni volta che l'animale sale alla superficie, un apposito software posto all'interno della trasmittente registra l'avvenuta apertura dello switch e successivamente misura l'intervallo di tempo che intercorre tra un'emersione e la successiva. Ad intervalli di tempo prestabiliti dall'utente, in questo caso ogni 4 ore per Aphrodite, Union, Liberty ed Emiliano e 6 ore per Esaco, il software è così in grado di determinare la durata media delle immersioni relativa a quello specifico intervallo di tempo.

Ad ogni contatto con il satellite, a prescindere dell'avvenuta localizzazione, tali dati vengono inviati con associata data e ora dell'avvenuto contatto.

L'analisi di questo secondo tipo di informazioni è tutt'altro che immediata, dal momento in cui c'è una ridondanza nei dati dei sensori che vengono inviati al satellite durante ogni overpass. Questo fenomeno si verifica poiché, dal momento in cui non è possibile prevedere a priori quante volte si stabilirà il contatto tra PTT e satellite in ciascun periodo di quattro o sei ore, il trasmettitore invia più volte lo stesso messaggio, riguardante le 4 o 6 ore precedenti, entro ciascun periodo. Ciò che viene modificato ad ogni trasmissione è solo il dato di temperatura, il cui valore, essendo registrato immediatamente prima della precedente trasmissione, varia da contatto a contatto.

Questo implica che, prima di poter analizzare il set di dati, è necessario effettuare un attento filtraggio dai dati, selezionando per ogni intervallo di quattro o sei ore, un unico valore di durata massima, durata media e numero delle immersioni, visto che

inconvenienti possono determinare imperfezioni nel contatto con il satellite, e quindi ricezione da parte di quest'ultimo di dati non corretti. Il dato selezionato sarà quello che nella fascia oraria considerata, si presenta con frequenza maggiore.

Prima di poter procedere con l'analisi dei risultati, è stato poi calcolato il tempo totale di immersione per ciascun set di ore, moltiplicando il numero di immersioni per la durata media. A questo punto, a seguito di un'analisi valutativa specifica per ogni singolo dato, sono stati eliminati i valori che cadevano molto al di sopra dell'intervallo di tempo predeterminato, visto che essi probabilmente derivano dalla ricezione erronea di uno o più dati.

L'insieme dei dati così ottenuti sono stati utilizzati per creare i profili di immersione dei singoli individui, estremamente importanti per indagare l'eventuale presenza di cambiamenti nel pattern comportamentale lungo l'intero tragitto. Tuttavia, per rendere ancora più efficiente l'interpretazione dei risultati, è stato deciso di integrare anche questo tipo di dati nel foglio di calcolo utilizzato per la costruzione della rotta, associando per quanto possibile ad ogni singolo dato di localizzazione (fixes), i dati registrati dai sensori.

2.3.2 Remote sensing

Quando si parla di remote sensing, viene fatto riferimento all'insieme di tecniche che consentono di ottenere informazioni riguardanti le variabili fisiche, chimiche e biologiche che caratterizzano la superficie terrestre e l'atmosfera, senza entrare in contatto fisico diretto con esse (Avery et. al. 1992, Sabins 1997).

In questo studio, al fine di mettere in evidenza la presenza di possibili legami tra i pattern comportamentali e le variabili ambientali, per ogni singolo dato di localizzazione sono stati associati dati di remote sensing disponibili in rete, ottenuti da vari satelliti in orbita terrestre in grado di rilevare e misurare alcune caratteristiche fisiche della superficie terrestre e dell'atmosfera tramite appositi sensori. Questi sensori sono apparecchiature sensibili alle varie forme di energia elettromagnetica, quali le onde radio (radar), la luce (macchine fotografiche e scanner) ed il calore (scanner termici), oltre ad essere in grado di misurare anche lunghezze d'onda al di

fuori dello spettro del visibile (ultravioletto, infrarosso, microonde). Il prodotto finale è spesso un'immagine digitale o una fotografia, che viene sottoposta a tecniche di elaborazione che, affinché sia possibile una lettura visiva immediata dei dati, restituiscono in genere mappe tematiche a falsi colori.

Questa tipologia di dati sono stati acquisiti utilizzando STAT (Satellite Tracking and Analysis Tool), un sistema disponibile gratuitamente on-line, che include una serie di strumenti standardizzati e tecniche per la gestione dei dati di localizzazione, l'analisi e l'integrazione con dati ambientali (Coyne et al. 2005).

STAT scarica giornalmente dalla rete Argos le localizzazioni ed i dati associati ad ogni utente-trasmittente attualmente in funzione. Tali dati vengono poi analizzati, e immagazzinati in un database, a partire dal quale ogni utente può selezionare opzioni alternative sulla modalità di filtraggio dei dati stessi. Inoltre, numerosi dati ambientali come la batimetria, la temperatura superficiale del mare, l'altezza sulla superficie del mare, le correnti oceaniche e la clorofilla, possono essere campionati per tutte le location nel database STAT, scaricati, ed incorporati con i dati di localizzazione per la ricostruzione e l'interpretazione delle rotte.

In questo specifico contesto, le variabili ambientali che abbiamo deciso di integrare ai dati di localizzazione riguardano la clorofilla (CHLa – disponibili dai satelliti-sensori della NASA's Ocean Color project SeaWiFS e MODIS), la batimetria (dati disponibili dal General Bathymetric Chart of the Oceans, e da ETOPO Global 2-Minute Elevations) e la temperatura superficiale del mare (SST- raccolta giornalmente dai satelliti basati su sensori della NOAA Geostationary Operational Environmental Satellites, e settimanalmente e mensilmente dall'Advanced Very High Resolution Radiometer).

E' da precisare che, sebbene questo sistema renda possibile eliminare la fase iniziale di scaricamento dei dati direttamente dalla rete Argos, e lo smistamento dei dati appartenenti alle diverse tartarughe, in questo studio abbiamo preferito eseguire manualmente tale operazione, ed effettuare solo in un secondo momento un confronto tra i due metodi per verificarne l'effettiva corrispondenza.

Terminata questa prima fase di pulizia ed integrazione dei dati, è stato quindi possibile procedere con l'interpretazione dei risultati ottenuti.

3. RISULTATI

I dati scaricati dai PTT, filtrati ed integrati con le variabili ambientali, sono stati elaborati seguendo tre principali linee guida consistenti in una descrizione della rotta e suddivisione in tratti, analisi degli andamenti medi all'interno dei singoli tratti e studio del comportamento di immersione.

3.1 *Descrizione delle rotte*

3.1.1 LIBERTY

Liberty è stata rilasciata il 22 luglio 2006 alle ore 18:00, a circa 15 km dalla costa romagnola (44°10'N; 12°43'E).

La trasmittente ha trasmesso fino al 01 giugno 2007, consentendo un totale di 612 fixes, di cui 257 sono stati eliminati durante il processo di pulizia. La lunghezza totale del percorso effettuato, considerando i fixes corretti, è stato di 3224 km (Tab. 3.1; Fig. 3.1).

Sulla base del tipo di movimento compiuto e delle caratteristiche della rotta tenuta sono stati distinti 10 tratti differenti (Fig. 3.2).

Durante il primo tratto lungo circa 11 giorni, l'animale è rimasto all'interno di un'area circoscritta nella zona antistante il sito di rilascio, effettuando brevi spostamenti ad una velocità media di $2.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, caratterizzati da frequenti cambiamenti di direzione. Il tragitto totale percorso è stato di 536.4 km.

Nel tratto successivo, l'animale si è spostato in direzione della costa croata, coprendo una distanza di 125 km in circa 3 giorni, ad una velocità media di $2.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Giunto quindi nell'area antistante la penisola d'Istria, a livello della città di Rovigno, ha esibito un comportamento analogo a quello evidenziato nel primo tratto, caratterizzato da spostamenti brevi, in varie direzioni, circoscritti all'interno della stessa area. Il soggiorno di Liberty in questa zona ha avuto una durata totale di 45

giorni, durante i quali ha mantenuto una velocità media di $1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, per un totale di 1698 km.

Nella seconda metà di settembre l'animale ha proseguito il proprio viaggio inizialmente in direzione nord, verso il Golfo di Venezia, e successivamente verso est, fino a raggiungere Monfalcone, nel golfo di Trieste, presso cui ha soggiornato 82 giorni, fino al 16 dicembre 2006. In questo tratto, relativamente lungo, Liberty ha percorso un totale di 162.2 km ad una velocità media molto bassa di $0.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

La tartaruga si è quindi diretta nuovamente verso sud, stazionando in un'area a circa 19 km dalla costa croata ($45^{\circ}21' \text{ N}$; $13^{\circ}18' \text{ E}$), per 41 giorni, per un totale di 67.7 km percorsi ad una velocità media di $0.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

A partire da questa localizzazione, si è verificata un'interruzione nei contatti tra il PTT e il satellite per un periodo di dieci giorni, al termine del quale, Liberty è stata localizzata nuovamente in direzione nord, ricalcando la stessa rotta mantenuta nello spostamento avvenuto in precedenza in direzione del golfo di Venezia.

Nel penultimo tratto l'animale poi è tornato nella zona compresa tra la città di Rovigno e la città di Zelena (percorrendo 74.7 km a $0.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), sito nel quale ha trascorso l'ultimo breve periodo antecedente l'interruzione definitiva nella trasmissione dei dati, avvenuta a circa 15 km dalla costa.

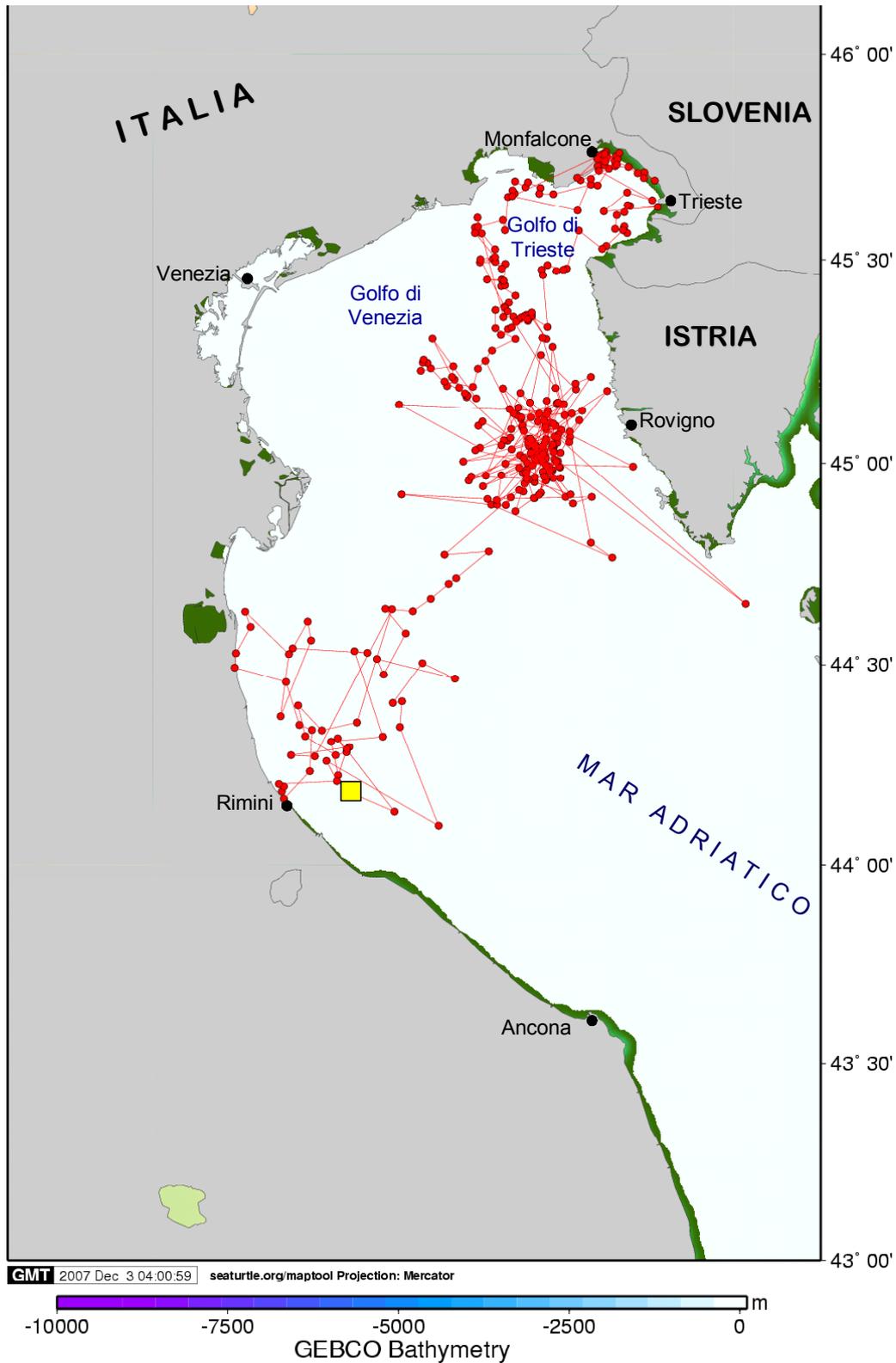


Figura 3.1 Rotta seguita dalla tartaruga Liberty. Il quadrato in giallo evidenzia il sito di rilascio.

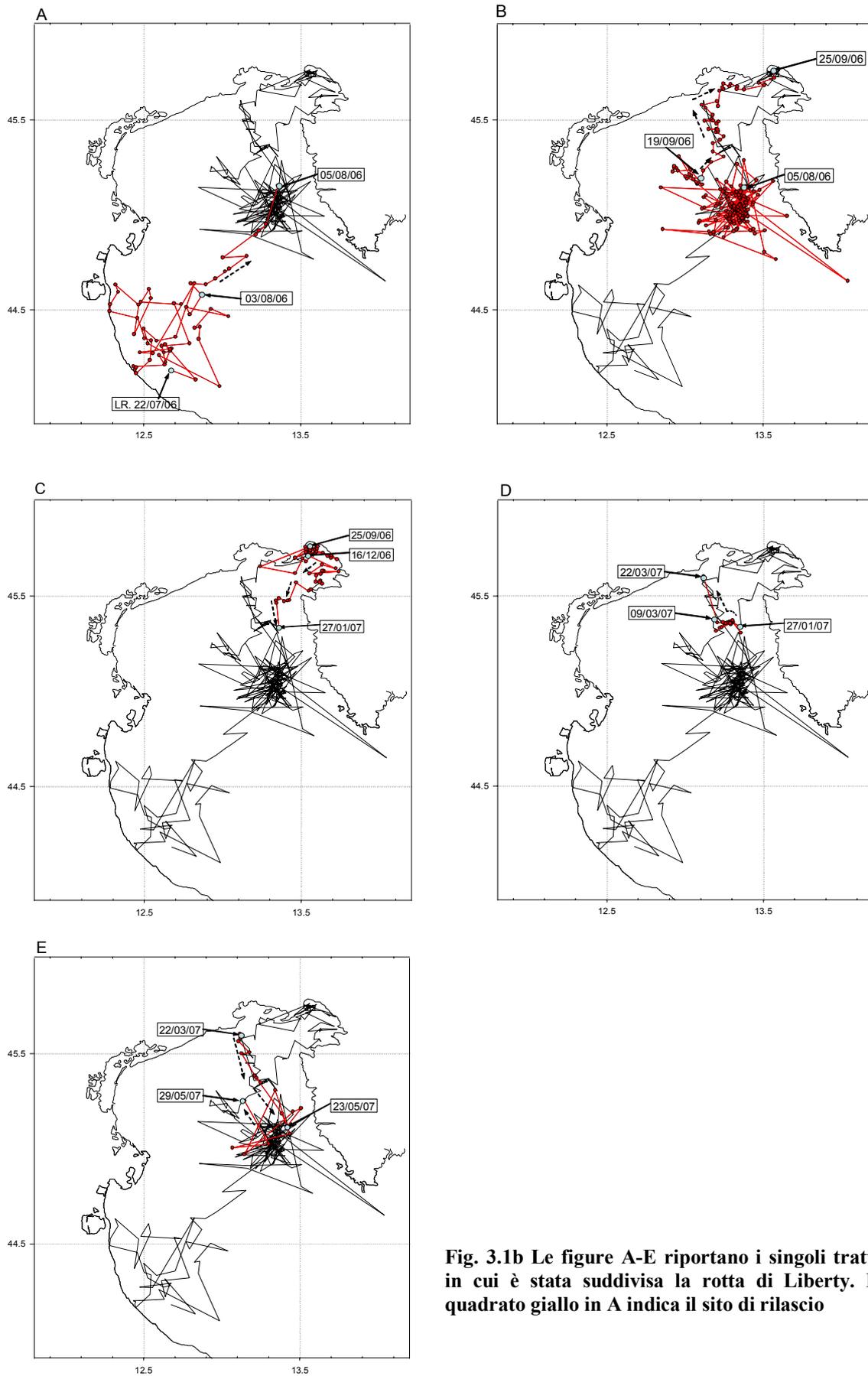


Fig. 3.1b Le figure A-E riportano i singoli tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Liberty. Il quadrato giallo in A indica il sito di rilascio

Tratto	DA		A		Durata tratto (giorni)	Percorso (km)	Velocità media (km·h ⁻¹)	COMMENTI
	fix	Data	fix	Data				
1	LR	22/07/2006 16.00	93	03/08/2006 4.12	11.5	563.4	2.0	Resta nell'area antistante la zona del rilascio
2	93	03/08/2006 4.12	119	05/08/2006 19.09	2.6	125.5	2.0	Si sposta dalla costa romagnola verso la costa croata.
3	119	05/08/2006 19.09	450	19/09/2006 15.47	44.9	1698.1	1.6	Si trattiene davanti alla penisola d'Istria, a livello della città di Rovigno.
4	450	19/09/2006 15.47	492	25/09/2006 1.52	5.4	149.1	1.1	Si dirige a nord verso il Golfo di Venezia, e poi vira verso est, in direzione di Trieste
5	492	25/09/2006 1.52	538	16/12/2006 4.01	82.1	162.2	0.1	Si trattiene a Monfalcone, nel Golfo di Trieste
6	538	16/12/2006 4.01	567	27/01/2007 9.37	42.2	132.2	0.1	Scende lungo la costa croata
7	567	27/01/2007 9.37	589	09/03/2007 15.23	41.2	67.7	0.1	Resta nella stessa zona
8	589	09/03/2007 15.23	590	22/03/2007 13.28	10.3	27.8	0.1	Dopo 10 giorni senza contatto viene localizzata a sud del Golfo di Venezia unico fix).
9	590	22/03/2007 13.28	601	23/05/2007 9.16	64.5	74.7	0.1	Torna nuovamente a sud, davanti a Rovigno
10	601	23/05/2007 9.16	608	29/05/2007 5.28	5.8	146.8	1.0	Si muove a zig-zag in quest'area

Tabella 3.1 - Liberty. Andamento della rotta suddivisa in tratti. LR, luogo di rilascio

3.1.2 APHRODITE



Figura 3.2 Aphrodite

Aphrodite (Fig. 3.2) è stata rilasciata in perfetta salute da Cala Madonna ($35^{\circ}30'N$; $12^{\circ}35'E$), nella porzione occidentale dell'isola di Lampedusa, il 6 marzo 2007 alle ore 15:40, ed ha inviato l'ultima localizzazione il 29 agosto 2007.

Il PTT ha trasmesso per circa 176 giorni, durante i quali la tartaruga ha percorso approssimativamente 4488 km (Fig. 3.3), per un totale di 665 dati di localizzazione (di cui 159 scartati tramite il processo di filtrazione dei dati). Sulla base del tipo di movimento compiuto e delle caratteristiche della rotta tenuta sono stati distinti 18 tratti differenti (Tab. 3.2; Fig.3.3b).

La rotta ricostruita per Aphrodite, così come gli altri due esemplari rilasciati dall'isola di Lampedusa, ha mostrato molte difficoltà di interpretazione, se raffrontata con quella di Liberty nel nord dell'Adriatico. Questo perchè, mentre per Liberty i pattern comportamentali mostrati erano nell'insieme più chiari e intuibili anche solo dall'osservazione della rotta, gli esemplari di Lampedusa hanno effettuato spostamenti più brevi con frequenti cambi di direzione, rendendo la descrizione e l'interpretazione degli spostamenti più complessa.

Durante i primi 30 giorni dopo il rilascio, Aphrodite si è diretta inizialmente nel tratto di mare a sud-est dell'isola, mantenendo una velocità media al di sotto di $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

In seguito si è spostata nuovamente verso ovest, percorrendo 462.4 km, avvicinandosi prima a Lampedusa, e poi dirigendosi in modo netto verso l'isola di Kerkennah nel Golfo di Gabes.

Nel tratto successivo, ha nuovamente invertito direzione di rotta, spostandosi per 284.7 km in direzione nord-est con una velocità di $1.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, fino a raggiungere il punto più settentrionale dei suoi movimenti a circa 40 km a nord dell'isola di Linosa ($36^{\circ}14'N$; $12^{\circ}53'E$)

Con la velocità media di $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ si è nuovamente mossa in direzione di Lampedusa, giungendo ad una distanza di circa 16 km dalla costa ($35^{\circ}38'N$; $12^{\circ}44'E$). Dopodiché ha effettuato una serie di loop e si è diretta, dopo una breve digressione in direzione nord-ovest e mantenendo una velocità di crociera compresa tra $1.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e $1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, nel Golfo di Gela, pochi chilometri a nord dell'isola di Gozo, nell'arcipelago maltese. Durante questo spostamento, durato complessivamente 21 giorni, Aphrodite ha stazionato, indicativamente a metà del tragitto, in un'area di circa 10 km di diametro, per due giorni e mezzo.

Dalla localizzazione nel Golfo di Gela, fino all'ultimo fixes ricevuto, sono stati individuati cinque tratti differenti, per i quali è tuttavia possibile generalizzare uno spostamento complessivo localizzato tra l'isola di Linosa e l'isola di Malta. All'interno di quest'area sono stati individuati tratti contraddistinti da lunghi spostamenti (oltre i 300 km) verso nord e verso sud, caratterizzati da velocità abbastanza sostenute, al di sopra di $1.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Tab. 3.2) (eccetto il tratto 17, dove la velocità è di $0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

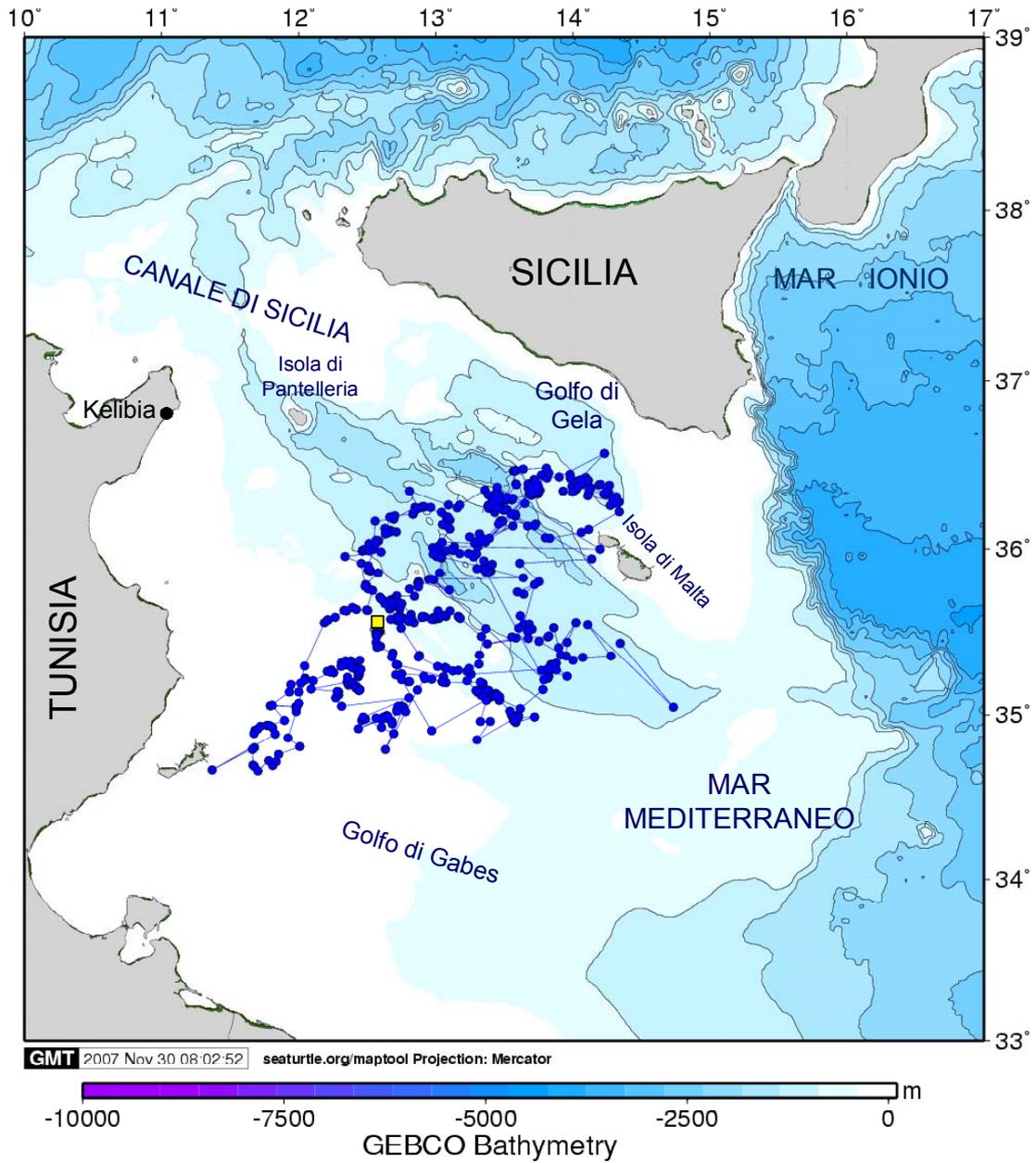


Figura 3.3 Rotta seguita dalla tartaruga Aphrodite. Nel quadrato in giallo si evidenzia l'isola di Lampedusa, sito di rilascio.

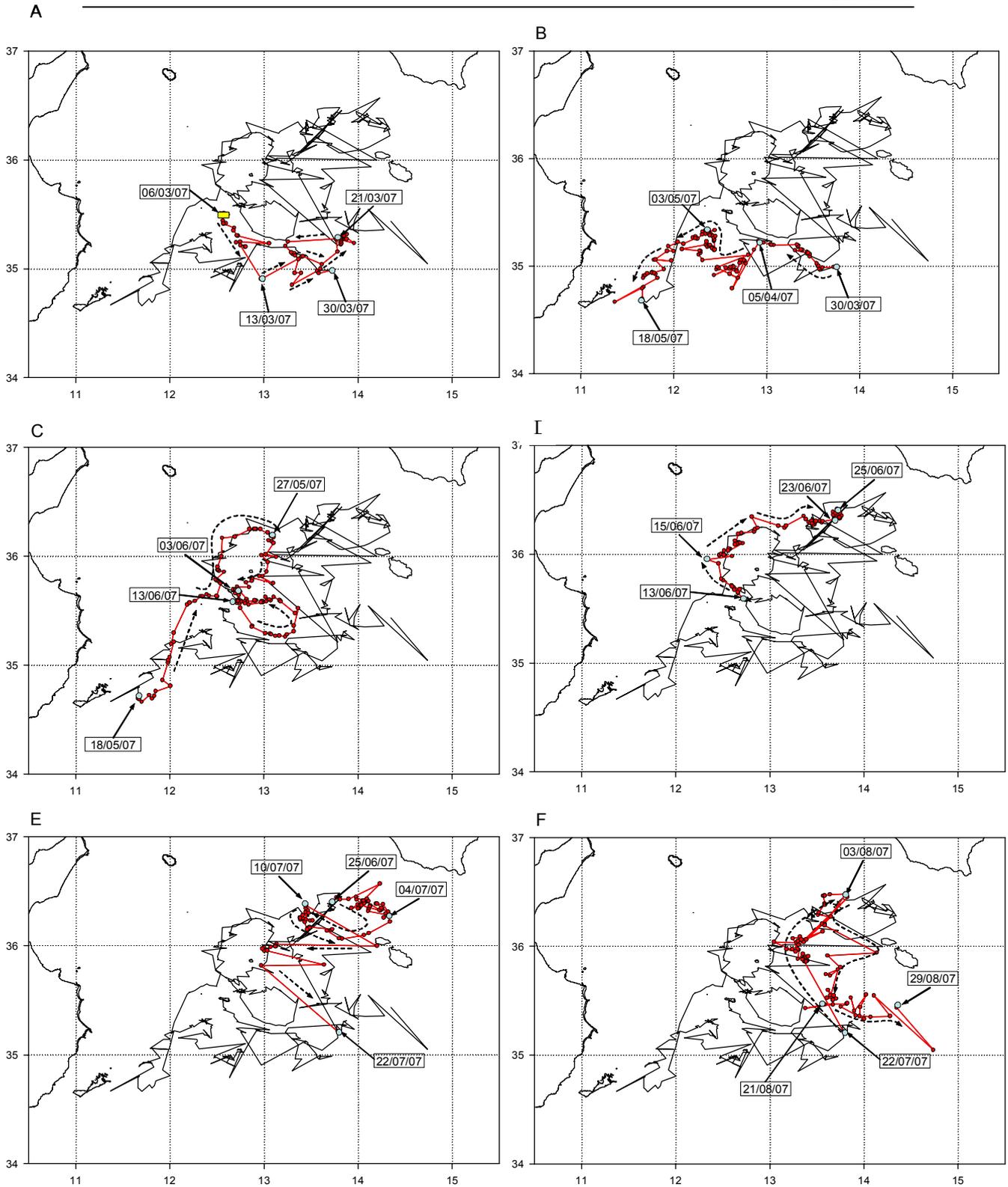


Fig. 3.3b Le figure A-F riportano i singoli tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Aphrodite. Il quadrato giallo in A indica Lampedusa, sito di rilascio

3. Risultati

Tratto	DA		A		Durata tratto (giorni)	Percorso (km)	Velocità media (km·h ⁻¹)	COMMENTI
	fix	data	fix	Data				
1	LR	06/03/2007 15.40	29	13/03/2007 12.42	6.9	161.5	1.0	Si dirige verso sud
2	29	13/03/2007 12.42	46	21/03/2007 15.24	8.1	153.8	0.8	Va verso nord-est
3	46	21/03/2007 15.24	65	30/03/2007 21.22	9.2	173.3	0.8	Inverte direzione dirigendosi a sud-ovest
4	65	30/03/2007 21.22	100	05/04/2007 11.09	5.6	121.2	0.9	Compie un loop e si dirige verso nord-ovest
5	100	05/04/2007 11.09	182	03/05/2007 21.38	28.4	462.4	0.7	Virata verso nord-ovest compiendo una serie di movimenti a zig-zag
6	182	03/05/2007 21.38	216	18/05/2007 13.07	14.6	261.6	0.7	Inverte rotta e si dirige verso sud-ovest
7	216	18/05/2007 13.07	271	27/05/2007 6.26	8.7	284.7	1.4	Si dirige nuovamente verso nord-est
8	271	27/05/2007 6.26	302	03/06/2007 15.58	7.4	182.1	1.0	Virata verso sud, in direzione di Lampedusa
9	302	03/06/2007 15.58	365	13/06/2007 17.39	10.1	270.0	1.1	Fa un loop in direzione est, chiudendo lo stesso ad est di Lampedusa
10	365	13/06/2007 17.39	377	15/06/2007 15.17	1.9	73.8	1.6	Si dirige verso nord-ovest
11	377	15/06/2007 15.17	432	23/06/2007 11.59	7.9	251.8	1.3	Si dirige verso nord-est
12	432	23/06/2007 11.59	454	25/06/2007 16.12	2.2	63.0	1.2	Resta nella stessa zona due giorni e mezzo
13	454	25/06/2007 16.12	507	04/07/2007 11.49	8.8	281.0	1.3	Continua verso nord-est, compie un piccolo tratto verso sud, poi fa una serie di loop circa nella stessa zona

3. Risultati

14	507	04/07/2007 11.49	541	10/07/2007 10.47	6.0	198.0	1.4	Si muove verso ovest, tornando nel punto in cui prima ha soggiornato per 2gg e 1/2
15	541	10/07/2007 10.47	564	22/07/2007 11.18	12.0	418.6	1.5	Si dirige a sud, con andamento a zig-zag
16	564	22/07/2007 11.18	615	03/08/2007 20.30	12.4	486.3	1.6	Si dirige verso nord, con rotta poco lineare
17	615	03/08/2007 20.30	642	21/08/2007 5.38	17.4	310.3	0.7	Torna verso sud
18	642	21/08/2007 5.38	665	29/08/2007 19.38	8.6	334.3	1.6	Si dirige ad est

Tabella 3.2 Aphrodite: descrizione dell'andamento dei singoli tratti definiti a partire della rotta. L.R. Luogo di Rilascio

3.1.3 ESACO

Esaco (Fig.3.6) è stato rilasciato insieme ad Aphrodite, il 6 marzo 2007 alle ore 15:30, da Cala Madonna a Lampedusa (35°30'N; 12°35'E).



Figura 3.4 Esaco lascia la spiaggia di Cala Madonna a Lampedusa

In un totale di circa 200 giorni di contatti tra trasmettente e satellite, sono stati ottenuti 925 fixes, di cui 308 scartati con il processo di filtrazione dei dati. In data 23 luglio 2007, ultimo giorno di trasmissione, i km percorsi da Esaco, considerando i fixes validi, sono stati 5268.7 km (Fig. 3.7). Sulla base del tipo di movimento compiuto e delle caratteristiche della rotta tenuta sono stati distinti 15 tratti differenti (Tab. 3.3 ; Fig. 3.8).

In modo analogo a quanto osservato per Aphrodite, subito dopo il rilascio Esaco si è diretto a sud-est dell'isola di Lampedusa, percorrendo in 15 giorni 344 km, ad una velocità media di circa $0.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

E' stata quindi osservata un'inversione completa di rotta, in direzione nord-est fino al canale di Pantelleria. Qui ha trascorso quasi 19 giorni, effettuando brevi spostamenti, per un totale di 314 km, ad una velocità media di $0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Con una velocità media di circa $1.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, ha quindi effettuato un lungo spostamento, prima verso est, toccando le coste settentrionali dell'isola di

Pantelleria, poi verso sud, attraversando la fossa di Malta, tra Linosa e l'arcipelago maltese, ed infine spostandosi nuovamente verso est, nella zona oceanica a sud est della Sicilia. Per compiere questo lungo spostamento, di oltre 930 km, Esaco ha impiegato circa 34 giorni.

A questo punto ha effettuato un grosso loop (di circa 529 km), muovendosi ad una velocità media di $0.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, prima di ripercorrere a grandi linee il viaggio di andata, con un tragitto diagonale verso nord-ovest, ed una velocità media di $1.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Ha pertanto attraversato nuovamente la fossa di Malta, oltrepassato a nord l'isola di Linosa, per poi stazionare per 16 giorni all'interno dell'area compresa tra le isole Pelagie e Pantelleria, mantenendo una velocità media di crociera di $0.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Dopo essersi spostata poco a sud dell'isola di Linosa, dove ha soggiornato in un'area di circa 17 km di diametro per una settimana (velocità media di $0.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), si è diretta verso il Golfo di Gela, fermandosi a circa 70 km dalla costa. La velocità tenuta in questo tragitto è stata di $1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Nel penultimo tratto, mantenendo la medesima velocità, Esaco ha compiuto un enorme loop di 581 km, circumnavigando Linosa e Lampedusa, prima di tornare nuovamente innanzi al Golfo di Gela ($36^{\circ}28'N$; $13^{\circ}58'E$), a circa 58 km dalla costa, punto in cui è rimasto fino a quando si è interrotta la comunicazione.

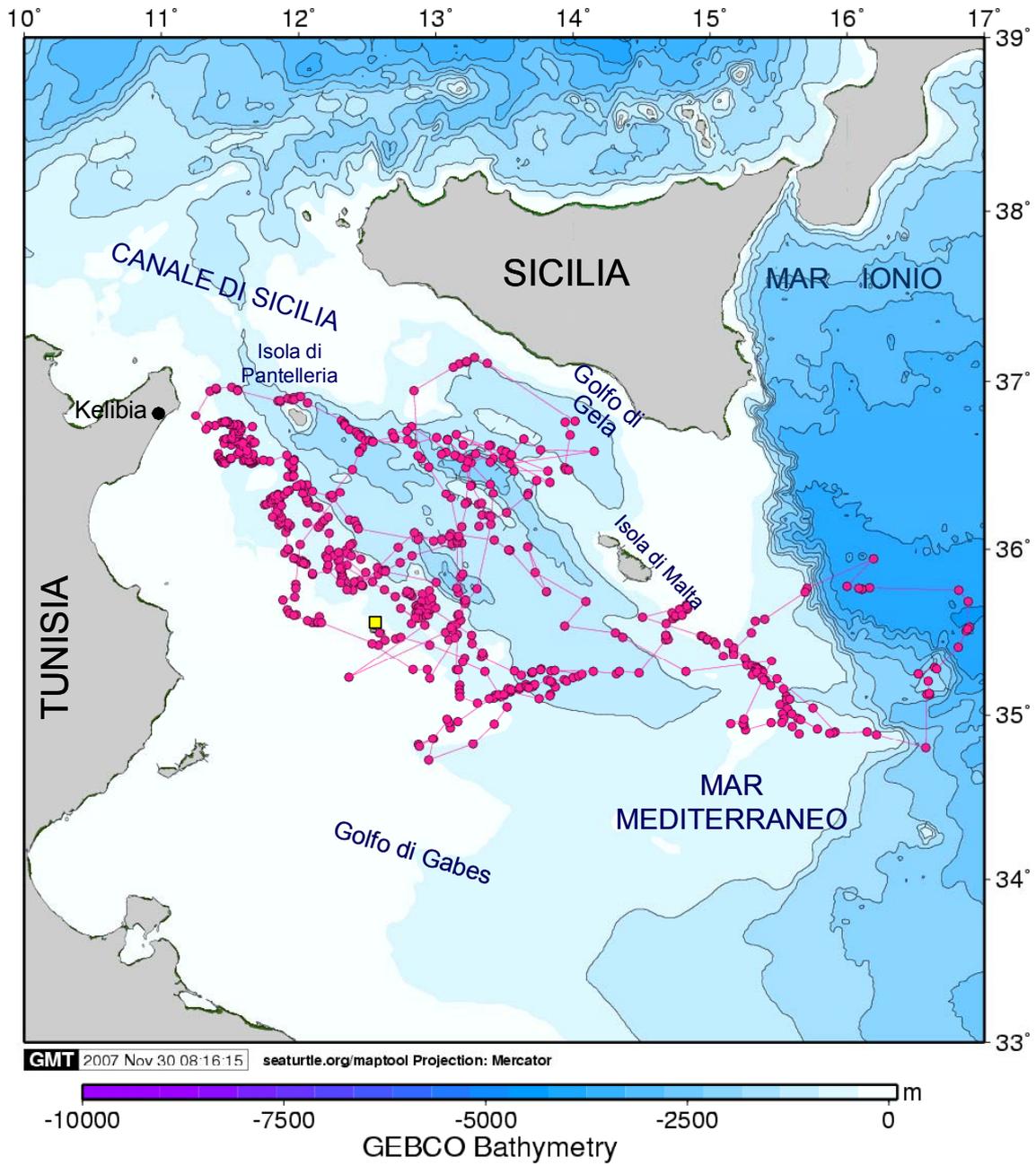


Figura 3.5 Rotta seguita dalla tartaruga Esaco. Nel quadrato in giallo si evidenzia l'isola di Lampedusa, sito di rilascio.

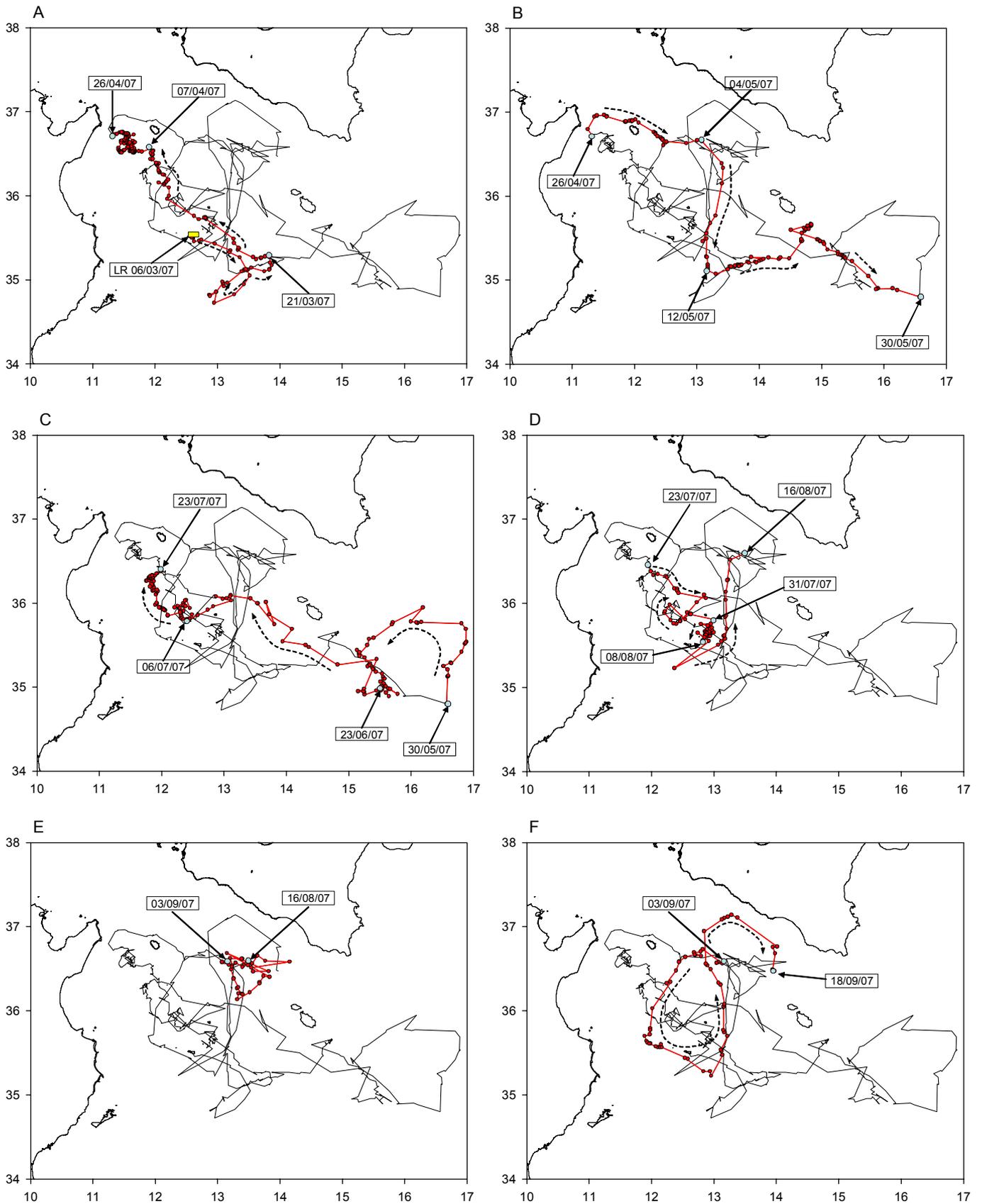


Fig.3.5b Le figure A-F riportano i singoli tratti in cui è divisa la rotta di Esaco. Il quadrato giallo in A indica il sito di rilascio

Tabella 3.3 Esaco: descrizione dell'andamento dei singoli tratti definiti a partire dalla rotta. L.R. Luogo di Rilascio

Tratto	DA		A		Durata tratto (giorni)	Percorso (km)	Velocità media (km·h ⁻¹)	COMMENTI
	fix	Data	fix	data				
1	LR	06/03/2007 15.45	42	21/03/2007 23.56	15.3	344.42	0.9	Si sposta in direzione sud-est, fa un loop e cambia direzione.
2	42	21/03/2007 23.56	97	07/04/2007 15.55	16.7	305.66	0.8	Si muove verso nord-ovest
3	97	07/04/2007 15.55	229	26/04/2007 11.24	18.8	314.31	0.7	Si trattiene in un area spazialmente delimitata
4	229	26/04/2007 11.24	278	04/05/2007 10.32	8.0	213.68	1.1	Curva, si dirige verso est
5	278	04/05/2007 10.32	294	12/05/2007 2.13	7.7	199.84	1.1	Vira verso sud / sud-ovest
6	294	12/05/2007 2.13	393	30/05/2007 2.06	18.0	516.88	1.2	Si dirige verso est, dopo aver fatto un breve loop
7	393	30/05/2007 2.06	479	23/06/2007 4.06	24.1	529.44	0.9	Fa un loop chiudendo il cerchio incrociando il tratto precedente
8	479	23/06/2007 4.06	520	06/07/2007 16.53	13.5	543.43	1.7	Si muove verso nord-ovest
9	520	06/07/2007 16.53	636	23/07/2007 0.33	16.3	328.16	0.8	Staziona tra Lampedusa e Pantelleria
10	636	23/07/2007 0.33	676	31/07/2007 20.43	8.8	274.76	1.3	Vira verso sud-est facendo un loop lungo il tragitto
11	676	31/07/2007 20.43	724	08/08/2007 1.01	7.2	142.75	0.8	Staziona nella stessa area per 12 giorni
12	724	08/08/2007 1.01	755	16/08/2007 3.28	8.1	317.71	1.6	Procede verso nord
13	755	16/08/2007 3.28	810	03/09/2007 3.49	18.0	484.93	1.1	Gira in tondo nella stessa zona
14	810	03/09/2007 3.49	909	18/09/2007 12.07	15.3	581.39	1.6	Fa un loop ellittico molto ampio
15	909	18/09/2007 12.07	925	23/09/2007 11.13	5.0	171.37	1.4	Si dirige verso est, poi a sud prima di terminare la trasmissione a nord di Pantelleria, a sud del Golfo di Gela.

3.1.4 UNION

Union, ultimo dei tre esemplari rilasciati da Lampedusa è stato liberato a Cala Pisana, spiaggia a nord est dell'isola ($35^{\circ}50'N$; $12^{\circ}37'E$) il 25 marzo 2007, da dove ha preso il largo alle 15.15, ora locale.

La trasmittente ha trasmesso, in totale per 125 giorni di viaggio producendo 409 localizzazioni di cui 118 scartate, per un totale di 2783 km percorsi (Fig. 3.9). Sulla base del tipo di movimento compiuto e delle caratteristiche della rotta tenuta sono stati distinti 15 tratti differenti (Tab. 3.4 ; Fig. 3.10).

Il primo tratto della rotta mantenuta da Union ha ricalcato con buona approssimazione il medesimo pattern di movimento osservato in Esaco, e parzialmente anche in Aphrodite. Anche in questo caso si è assistito ad un iniziale spostamento verso sud-est (per 136 km), seguito da un'inversione di rotta, in direzione nord-occidentale. Esaco, nei successivi 14 giorni, ha quindi attraversato il tratto di mare tra Lampedusa e Linosa, procedendo verso nord, oltre l'isola di Pantelleria, per un tragitto totale di 448 km, ad una velocità media di $1.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Dopodiché ha virato in direzione sud-ovest, fino a raggiungere l'area antistante la città di Kelibia in Tunisia, dove ha soggiornato per 15 giorni, spostandosi con un velocità media di $0.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Si è quindi diretta nuovamente verso sud, nell'area antistante il Golfo di Hammamet, dove ha trascorso 13 giorni in un area di circa 37 km di diametro. Negli ultimi 50 giorni di trasmissione, Union ha effettuato prima un ampio loop nell'area tra Lampedusa e Pantelleria, muovendosi per 592 km ad una velocità media di $1.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; dopodiché si è mossa a zig-zag all'interno del tratto di mare compreso tra Pantelleria, Malta e Lampedusa, effettuando l'ultimo contatto valido 29 km a sud-est dell'isola di Lampedusa stessa ($35^{\circ}15'N$; $12^{\circ}46'E$).

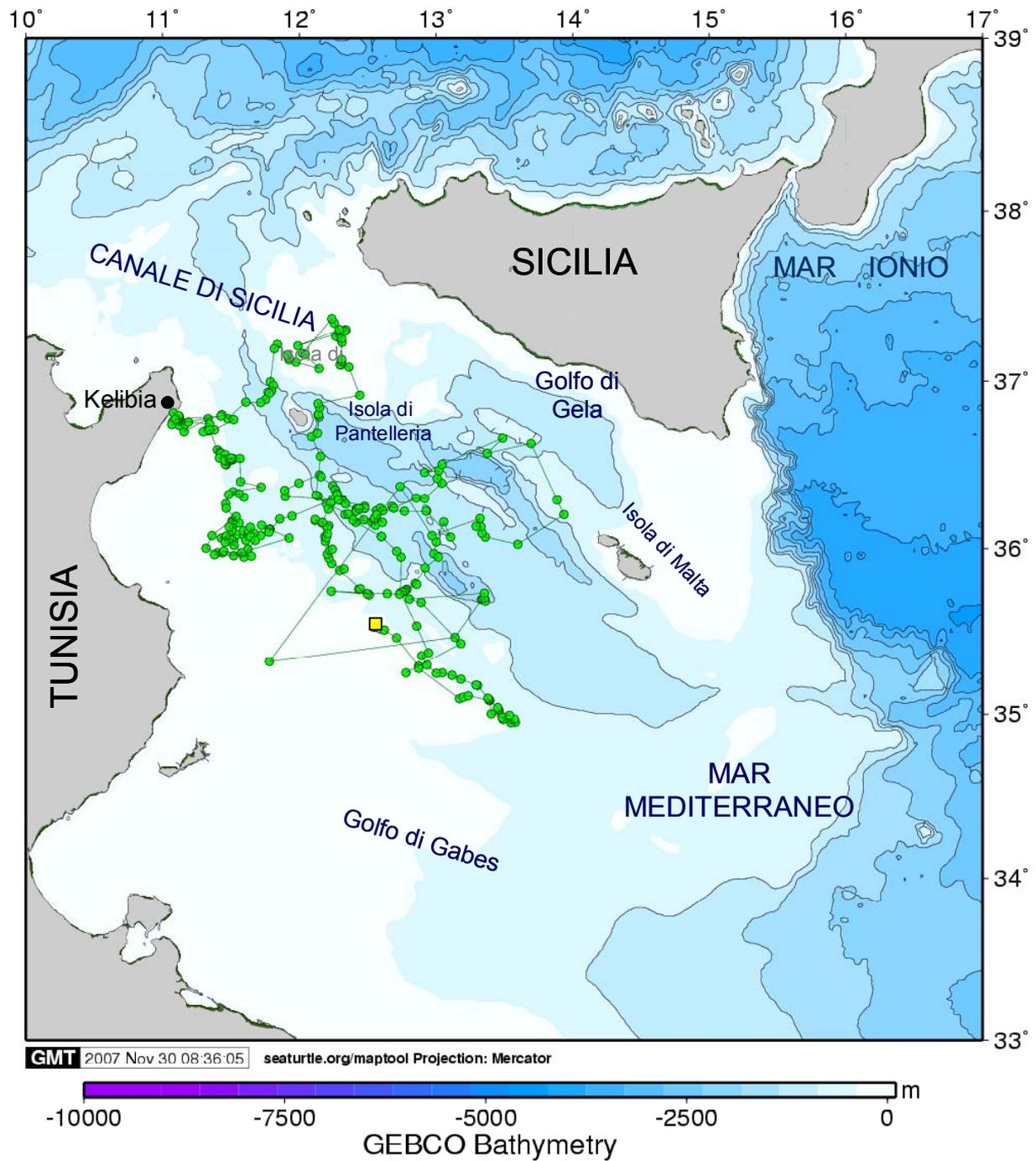


Figura 3.6 Rotta seguita dalla tartaruga Union. Nel quadrato in giallo si evidenzia l'isola di Lampedusa, sito di rilascio.

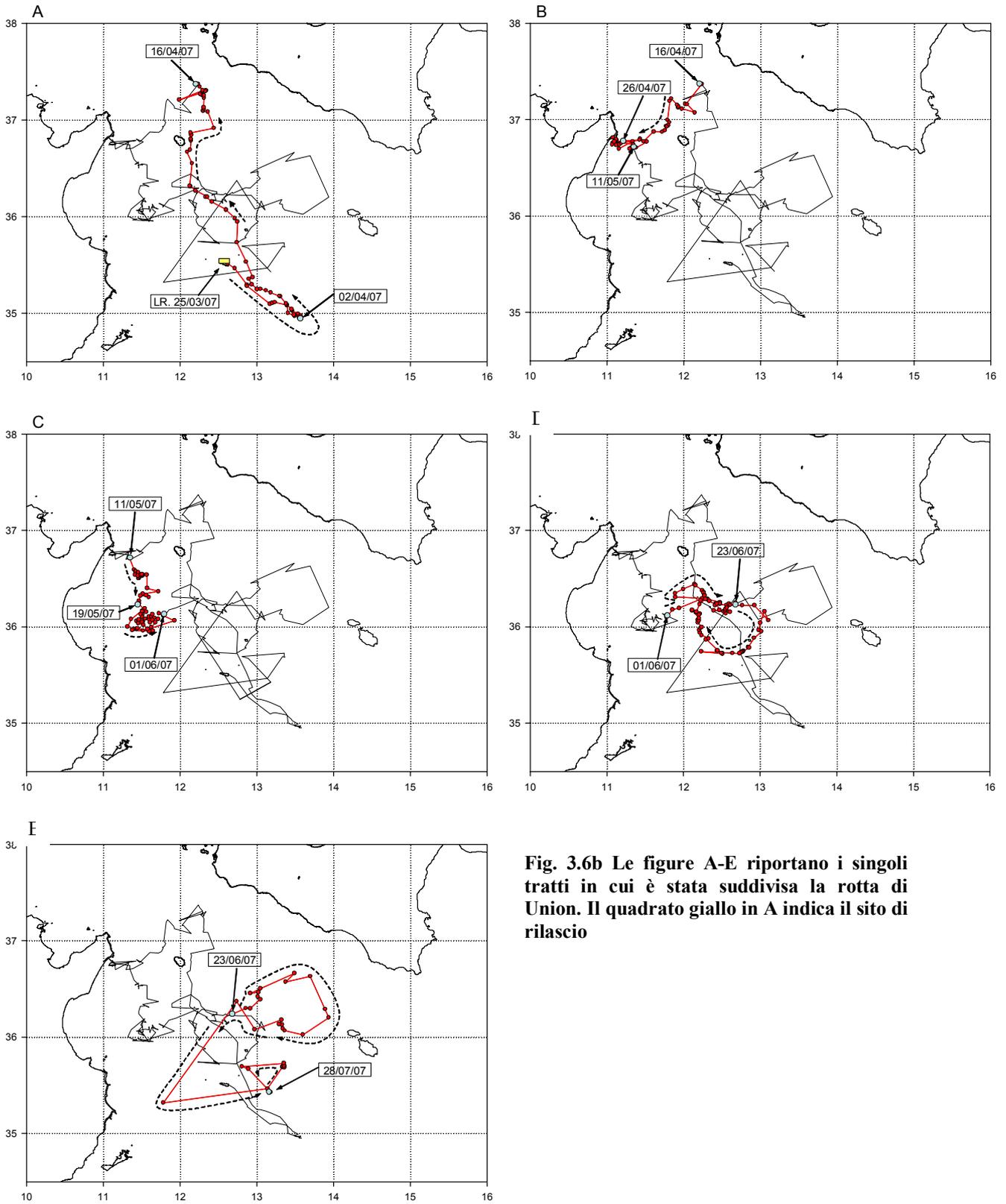


Fig. 3.6b Le figure A-E riportano i singoli tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Union. Il quadrato giallo in A indica il sito di rilascio

Tratto	DA		A		Durata tratto (giorni)	Percorso (km)	Velocità media ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	COMMENTI
	fix	data	fix	data				
1	RS	25/03/2007 14.12	21	02/04/2007 4.59	7.6	136.98	0.7	Si dirige verso sud-est
2	21	02/04/2007 4.59	93	16/04/2007 4.26	14.0	447.70	1.3	Va verso nord-ovest fino a Lampedusa parallelo al tragitto di andata, poi prosegue verso nord
3	93	16/04/2007 4.26	132	26/04/2007 21.00	10.7	225.96	0.9	Si dirige verso sud-ovest, verso la Tunisia
4	132	26/04/2007 21.00	145	11/05/2007 15.44	14.8	120.10	0.3	Resta fermo a Kelibia in Tunisia
5	145	11/05/2007 15.44	188	19/05/2007 13.54	7.9	162.64	0.9	Si dirige verso sud
6	188	19/05/2007 13.54	236	01/06/2007 2.45	12.5	294.38	1.0	Gira in cerchio nella medesima zona
7	236	01/06/2007 2.45	359	23/06/2007 9.08	22.3	592.41	1.1	Fa un loop abbastanza ampio
8	359	23/06/2007 9.08	409	28/07/2007 15.11	3.8	156.8	1.7	Compie un otto e termina di trasmettere poco lontano da Lampedusa

Tabella 3.4 Union: descrizione dell'andamento dei singoli tratti definiti a partire della rotta. LR. Luogo di Rilascio

3.1.5 EMILIANO

Emiliano è stato rilasciato dalla spiaggia di Calambrone (PI) (43°36'N; 10°17'E), il 10 maggio 2007, alle 10.50, ora locale (Fig.3.11).



Figura 3.7 Emiliano.

La trasmittente di Emiliano ha smesso di trasmettere il 12 settembre 2007, dopo aver effettuato 381 localizzazioni, di cui 97 eliminati a seguito della filtrazione (Fig. 3.8).

Dopo il rilascio, Emiliano è stato localizzato, per la quasi totalità del tempo di trasmissione (eccetto un breve spostamento verso nord), al largo del porto di Livorno, nelle secche della Meloria, quindi nei pressi della zona dove fu pescato accidentalmente nel dicembre 2006.

Quest'area, di basso fondale, situata circa 6 km ad ovest del porto di Livorno, è caratterizzata da una ricca formazione coralligena (in particolare gorgonia bianca), nonché dalla presenza di *Posidonia oceanica*, il cui sviluppo è favorito dalla scarsa profondità dei fondali e dal ricco sedimento.

Data l'assenza di spostamenti significativi rispetto al sito di rilascio, per Emiliano è stato possibile procedere solo alla ricostruzione della rotta, senza ulteriori possibili

analisi dei pattern comportamentali, effettuate invece per le altre tartarughe oggetto di studio.

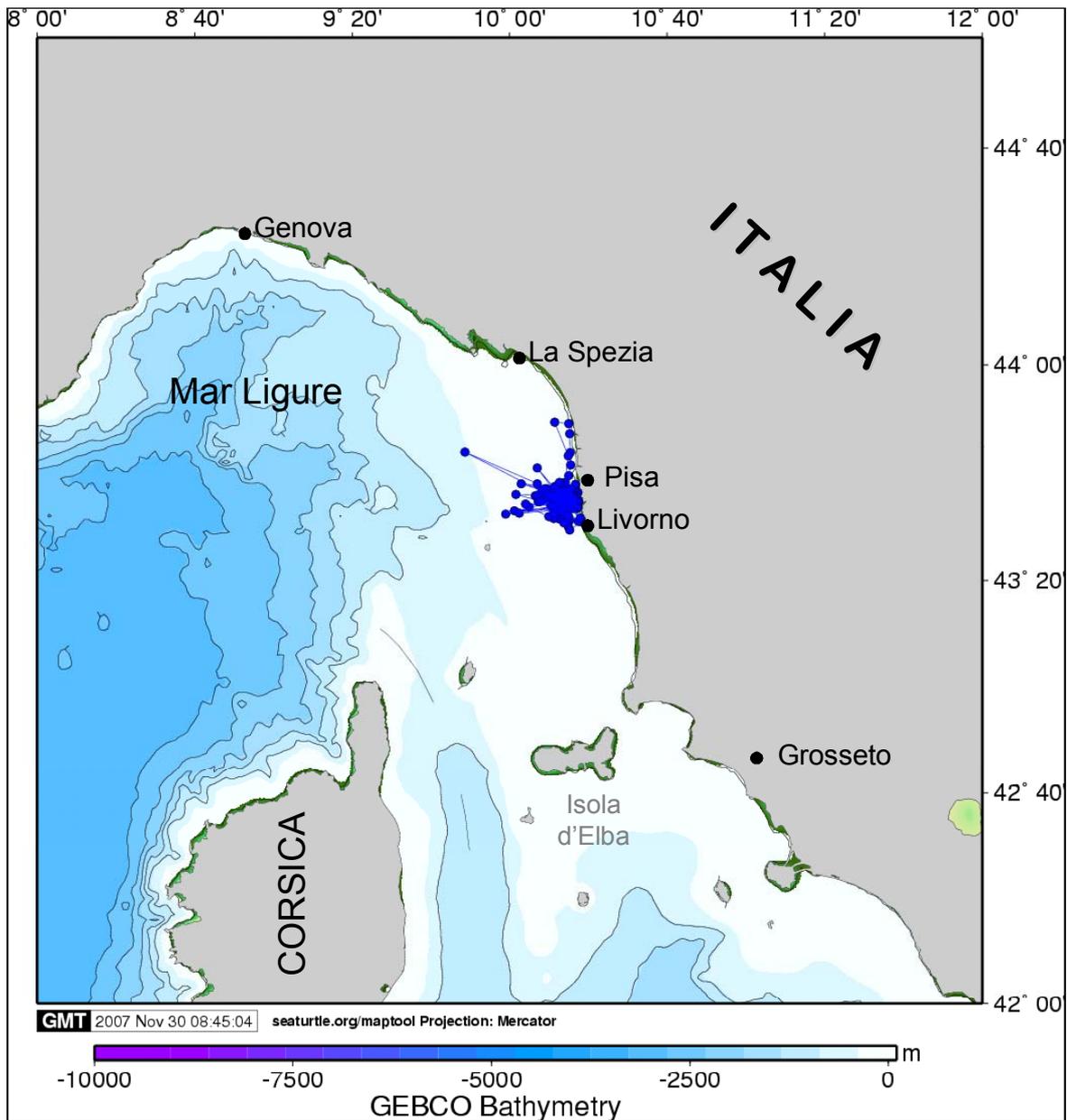


Figura 3.8 Rotta seguita da Emiliano rilasciato da Pisa, in Toscana.

3.2 Comportamento di immersione

Le figure 3.9-3.22 riportano i dati relativi ai comportamenti di immersione osservati per tutte le tartarughe.

Liberty è la tartaruga che ha trasmesso per un periodo di tempo più lungo, permettendoci di osservare nell'arco di un intero anno solare, le variazioni esibite nel comportamento di immersione. Mettendo a confronto la durata media e la durata massima delle immersioni effettuate da Liberty ogni 4 ore (Fig. 3.9, Tab. 3.5), con l'andamento della temperatura, è evidente l'esistenza di un rapporto di proporzionalità inversa (Fig. 3.10). Quello che si osserva è che a temperature basse, si verifica un incremento della durata media delle immersioni (che raggiungono anche le varie decine di minuti in media; Tab. 3.5), mentre all'aumentare della temperatura, le immersioni effettuate hanno una durata più breve (intorno ai 5-6 min).

Lo stesso pattern viene messo in evidenza anche analizzando il comportamento di immersione delle tartarughe rilasciate a Lampedusa (Fig. 3.11; Fig. 3.13; Fig. 3.15). Anche in questo caso, all'aumentare della temperatura si osserva una diminuzione della durata media delle immersioni, le quali sono invece di durata maggiore a temperature basse (Tab. 3.6; Tab. 3.7; Tab. 3.8) (vedi anche dopo). Nei grafici viene riportata sia la durata media che la durata massima delle immersioni per evidenziare la stretta corrispondenza dell'andamento delle due variabili, e quindi come ogni una variazione della durata media delle immersioni, non sia dovuta alla presenza di un unico valore discordante, ma da un trend complessivo di variazioni (Fig. 3.12; Fig. 3.14; Fig. 3.16).

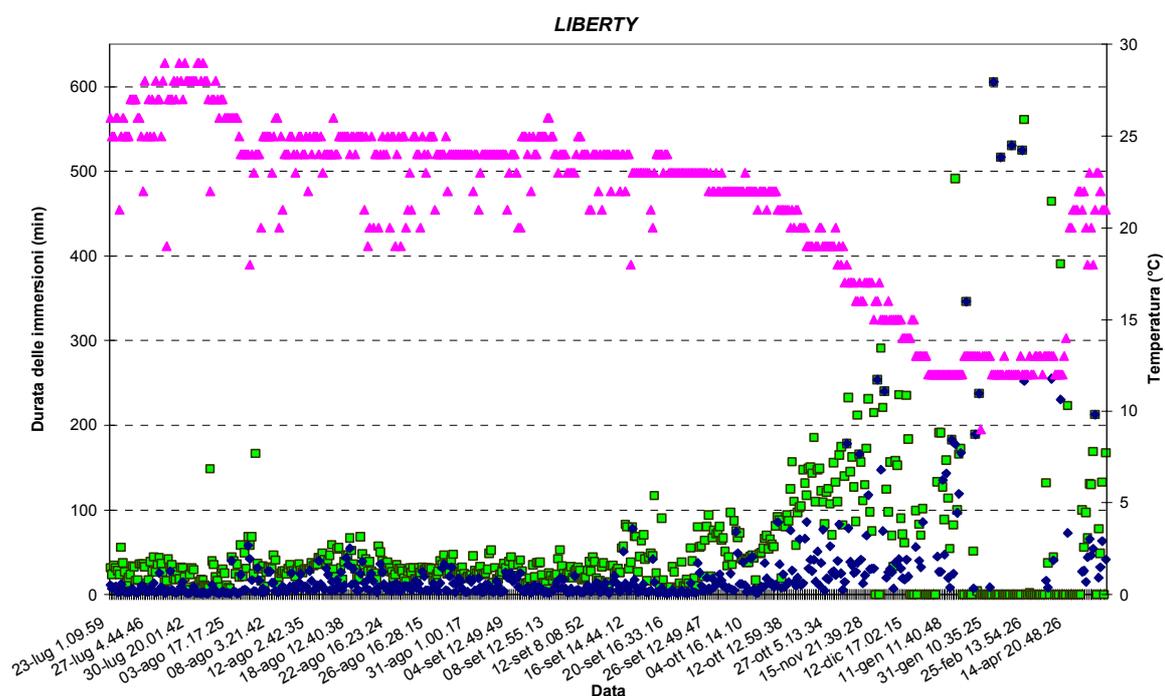


Figura 3.9 Durata media (♦) e massima (■) delle immersioni effettuate da Liberty durante il periodo di tracking. Profilo della Temperatura (▲)

Tratto	Profondità media (m ± DS)	Durata media immersioni (min ± DS)	Temperatura media (°C ± DS)	Clorofilla (mgm ³ ± DS)
1	-22.3 ± 1.8	5.6 ± 0.6	26.5 ± 0.1	0.42 ± 0.06
2	-39.1 ± 0.4	8.0 ± 3.4	24.8 ± 0.2	0.18 ± 0.01
3	-36.1 ± 0.4	12.1 ± 0.7	23.0 ± 0.1	0.35 ± 0.01
4	-16.1 ± 1.7	6.0 ± 1.8	23.2 ± 0.1	1.01 ± 0.14
5	-5.7 ± 0.7	34.9 ± 3.9	19.4 ± 0.2	1.42 ± 0.47
6	-22.3 ± 1.2	100.6 ± 17.4	12.4 ± 0.1	0.96 ± 0.12
7	-28.9 ± 0.2	406.4 ± 86.7	12.4 ± 0.1	0.57 ± 0.04
8	-6.0	80.1 ± 58.7	13.0 ± 0.1	0.83
9	-24.6 ± 2.6	89.7 ± 48.1	17.9 ± 0.8	0.80 ± 0.04
10	-33.12 ± 1.2	59.5 ± 17.8	20.1 ± 0.5	0.42 ± 0.03

Tabella 3.5 Liberty: valori medi delle variabili calcolati per i differenti tratti

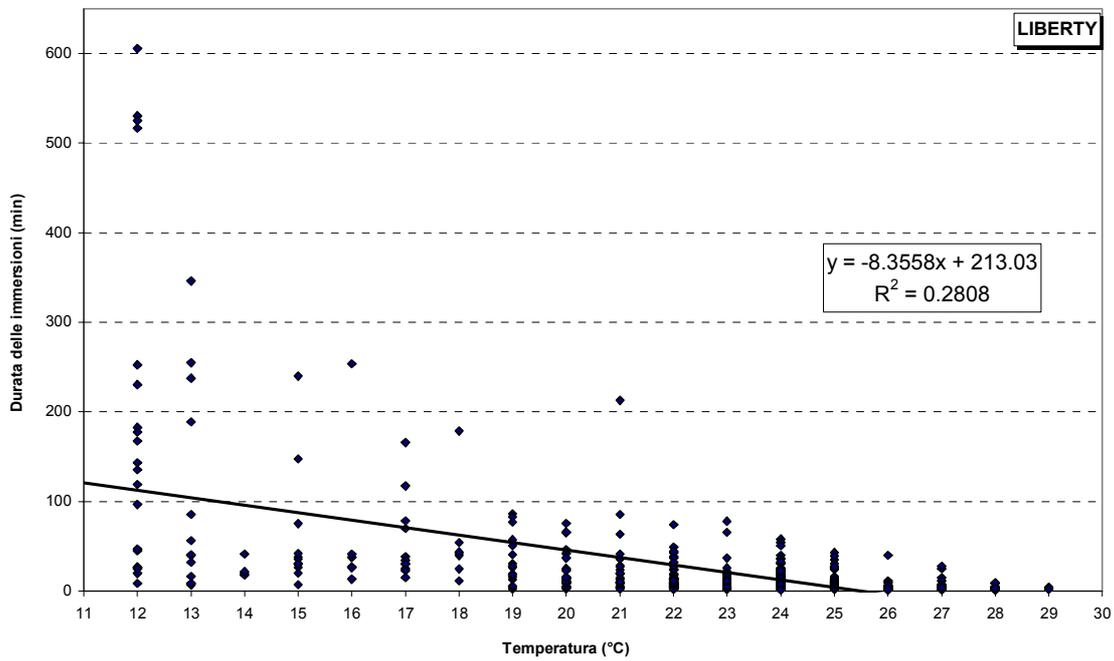


Figura 3.10 Correlazione tra la temperatura e la durata delle immersioni

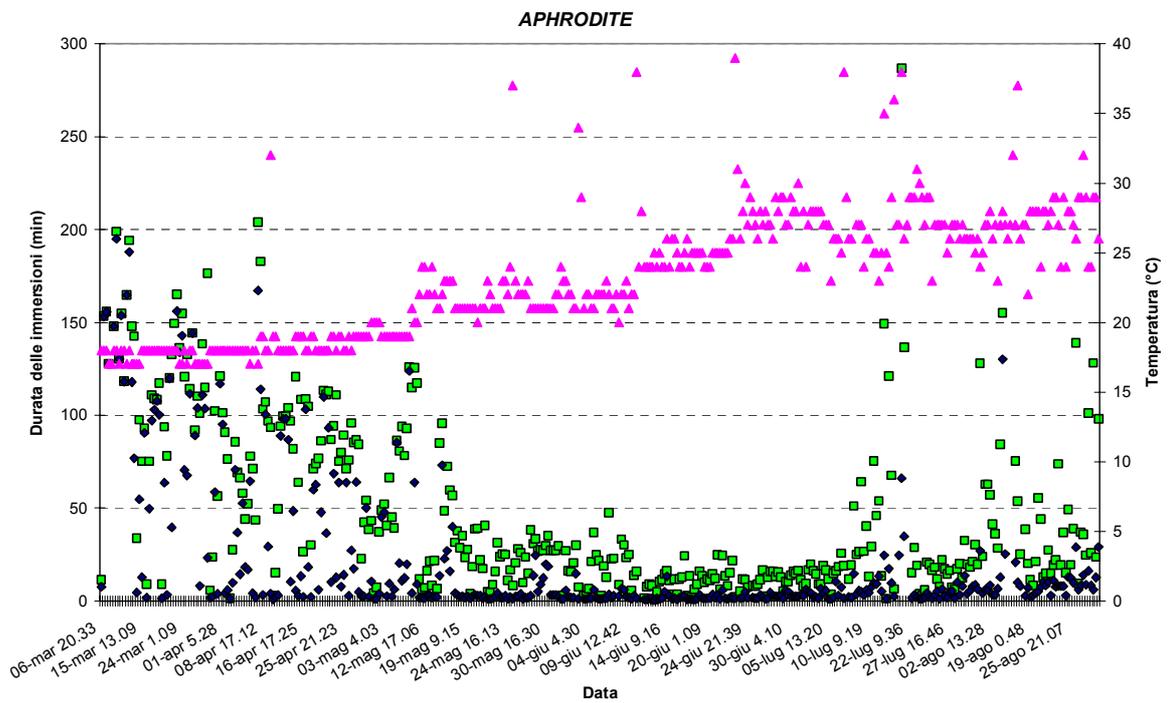


Figura 3.11 Durata media (♦) e massima (■) delle immersioni effettuate da Aphrodite durante il periodo di tracking. Profilo della Temperatura (▲)

Tratto	Profondità media (m ± DS)	Durata media immersioni (min ± DS)	Temperatura media (°C ± DS)	Clorofilla (mgm³ ± DS)
1	-62.7 ± 9.7	119.8 ± 14.8	17.6 ± 0.1	0.18 ± 0.003
2	-540.3 ± 32.9	66.1 ± 12.7	18.0 ± 0.1	0.17 ± 0.002
3	-241.0 ± 33.3	84.6 ± 13.9	17.5 ± 0.1	0.18 ± 0.009
4	-218.2 ± 11.7	35.8 ± 9.2	18.1 ± 0.1	0.14 ± 0.002
5	-59.3 ± 1.5	36.2 ± 5.5	20.0 ± 0.3	0.14 ± 0.003
6	-31.0 ± 2.7	22.0 ± 6.1	21.4 ± 0.2	0.60 ± 0.2
7	-284.8 ± 53.2	2.2 ± 0.2	22.8 ± 0.3	0.13 ± 0.004
8	-619.2 ± 77.7	7.1 ± 1.5	23.9 ± 0.5	0.11 ± 0.001
9	-264.3 ± 13.0	2.1 ± 0.3	23.7 ± 0.3	0.12 ± 0.001
10	-243.6 ± 20.8	4.8 ± 2.2	24.6 ± 0.3	0.13 ± 0.002
11	-687.3 ± 30.0	1.8 ± 0.2	25.0 ± 0.1	0.13 ± 0.001
12	-523.2 ± 18.9	2.3 ± 0.5	31.0 ± 0.7	0.13 ± 0.001
13	-511.1 ± 15.5	3.1 ± 0.3	27.7 ± 0.2	0.11 ± 0.001
14	-673.8 ± 61.2	5.0 ± 0.8	30.7 ± 0.7	0.09 ± 0.002
15	-847.6 ± 105.4	18.0 ± 5.0	30.1 ± 0.6	0.10 ± 0.002
16	-674.8 ± 33.6	5.3 ± 0.8	27.0 ± 0.3	0.09 ± 0.001
17	-651.5 ± 36.3	17.1 ± 7.3	27.4 ± 0.1	0.08 ± 0.001
18	-619.4 ± 12.4	10.0 ± 1.3	26.7 ± 0.4	0.07 ± 0.001

Tabella 3.6 Aphrodite: valori medi delle variabili calcolati per i differenti tratti

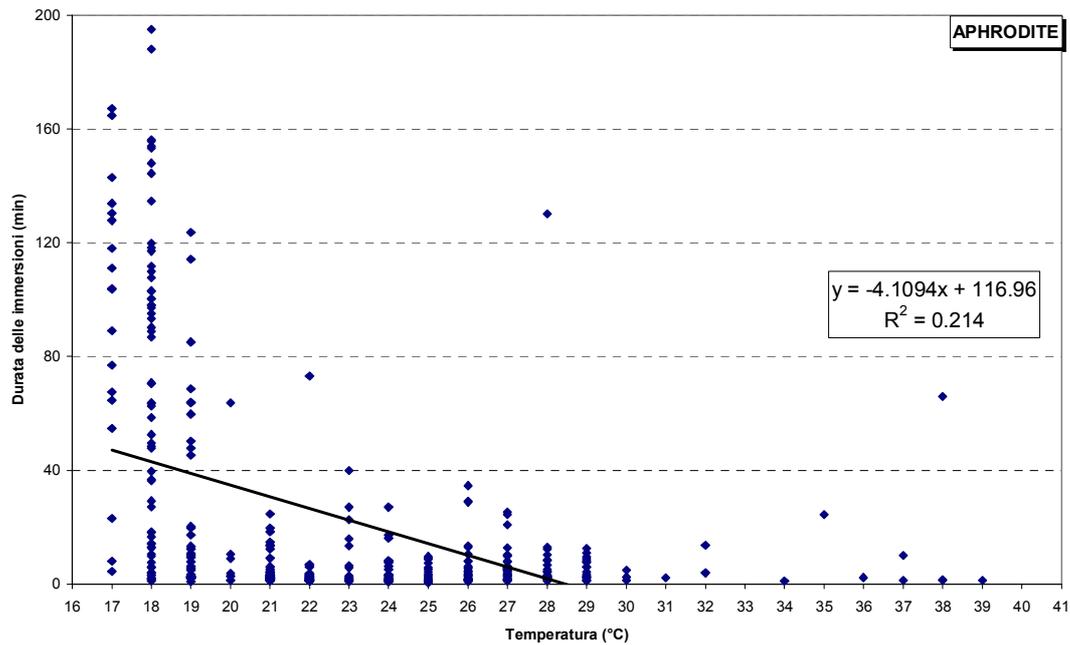


Figura 3.12 Correlazione tra la temperatura e la durata delle immersioni in Aphrodite

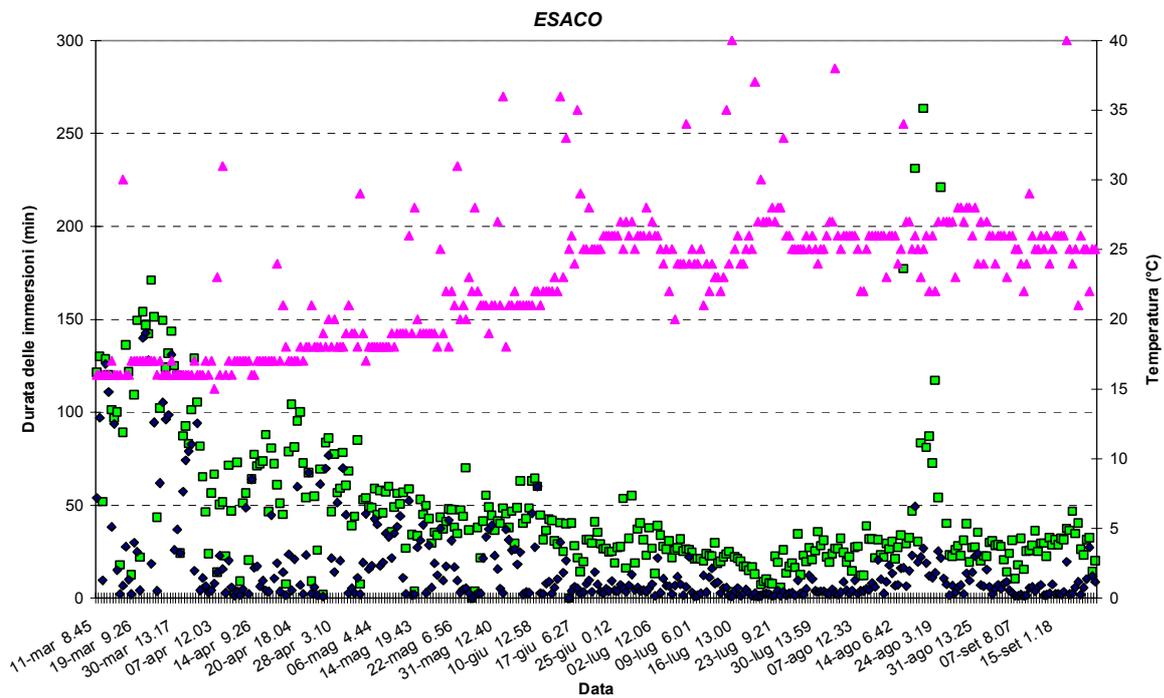


Figura 3.13 Durata media (♦) e massima (■) delle immersioni effettuate da Esaco durante il periodo di tracking. Profilo della Temperatura (▲)

Tratto	Profondità media (m ± DS)	Durata media immersioni (min ± DS)	Temperatura media (°C ± DS)	Clorofilla (mgm³ ± DS)
1	-266.5 ± 28.2	51.9 ± 12.1	19.7 ± 0.6	0.17 ± 0.005
2	-370.0 ± 17.3	51.0 ± 8.7	16.7 ± 0.2	0.19 ± 0.003
3	-242.6 ± 5.7	19.7 ± 3.7	18.4 ± 0.2	0.19 ± 0.004
4	-794.2 ± 72.6	22.8 ± 5.3	19.7 ± 0.2	0.16 ± 0.003
5	-514.6 ± 122.0	32.5 ± 3.1	18.2 ± 0.1	0.15 ± 0.001
6	-387.7 ± 28.7	17.2 ± 2.7	21.8 ± 0.2	0.11 ± 0.003
7	-1313.1 ± 193.7	13.2 ± 2.2	25.2 ± 0.3	0.09 ± 0.001
8	-512.0 ± 50.2	6.4 ± 0.8	24.8 ± 0.2	0.10 ± 0.003
9	-239.9 ± 8.0	4.5 ± 0.8	26.7 ± 0.5	0.11 ± 0.001
10	-487.7 ± 40.5	4.1 ± 0.8	27.1 ± 0.3	0.11 ± 0.001
11	-269.1 ± 7.5	4.0 ± 0.7	27.7 ± 0.4	0.09 ± 0.001
12	-499.4 ± 61.7	9.1 ± 1.3	25.6 ± 0.2	0.09 ± 0.001
13	-684.7 ± 57.4	14.0 ± 1.8	26.5 ± 0.4	0.09 ± 0.003
14	-547.9 ± 85.9	4.5 ± 0.7	25.4 ± 0.2	Non disp
15	-528.8 ± 57.5	10.9 ± 3.6	25.5 ± 0.6	Non disp

Tabella 3.7 Esaco: valori medi delle variabili calcolati per i differenti tratti

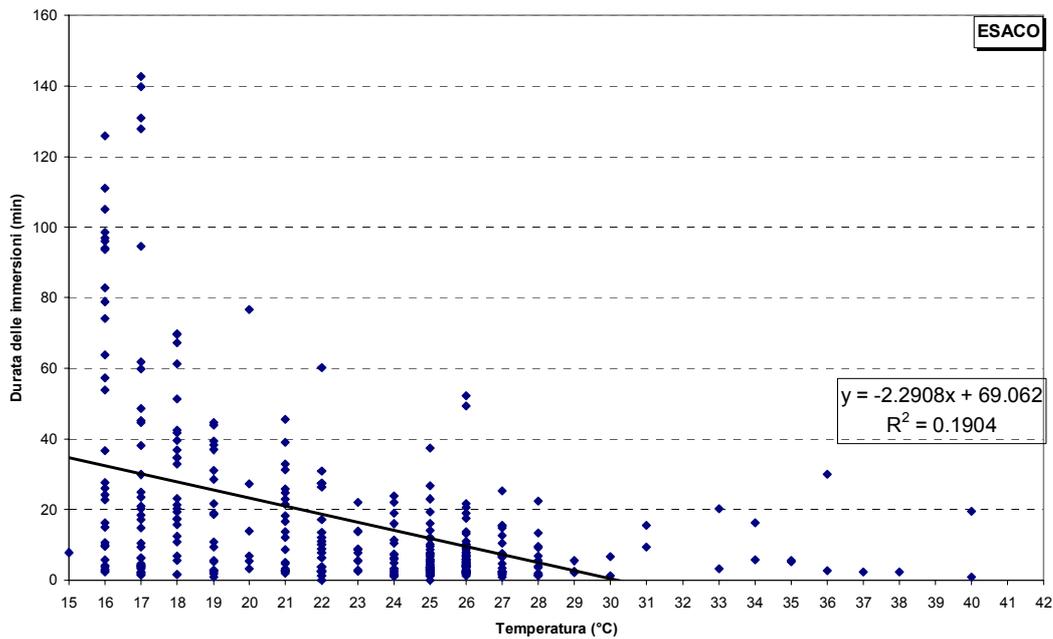


Figura 3.14 Correlazione tra la temperatura e la durata delle immersioni in Esaco

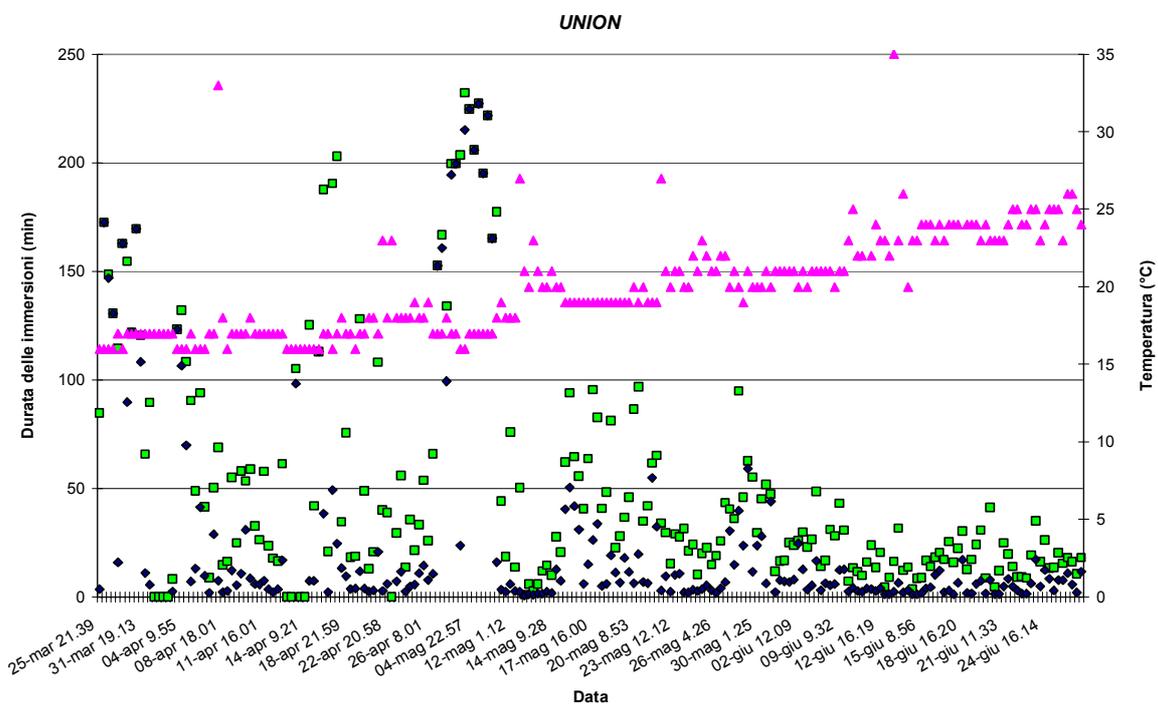


Figura 3.15 Durata media (♦) e massima (■) delle immersioni effettuate da Esaco durante il periodo di tracking. Profilo della Temperatura (▲)

Tratto	Profondità media (m ± DS)	Durata media immersioni (min ± DS)	Temperatura media (°C ± DS)	Clorofilla (mgm ³ ± DS)
1	-160.7 ± 12.7	94.9 ± 16.5	16.6 ± 0.1	0.16 ± 0.01
2	-353.1 ± 47.6	26.1 ± 6.4	17.4 ± 0.2	0.20 ± 0.01
3	-242.8 ± 38.6	11.3 ± 2.3	18.0 ± 0.2	0.21 ± 0.01
4	-77.5 ± 15.3	144.2 ± 21.4	17.3 ± 0.2	0.19 ± 0.02
5	-202.9 ± 5.2	13.4 ± 3.0	20.5 ± 0.4	0.15 ± 0.003
6	-183.5 ± 5.6	14.6 ± 2.5	20.6 ± 0.2	0.12 ± 0.001
7	-489.9 ± 27.3	5.4 ± 0.6	23.8 ± 0.2	0.13 ± 0.001
8	-763.2 ± 65.3	8.4 ± 1.4	24.5 ± 0.2	0.13 ± 0.01

Tabella 3.8 Union: valori medi delle variabili calcolati per i differenti tratti

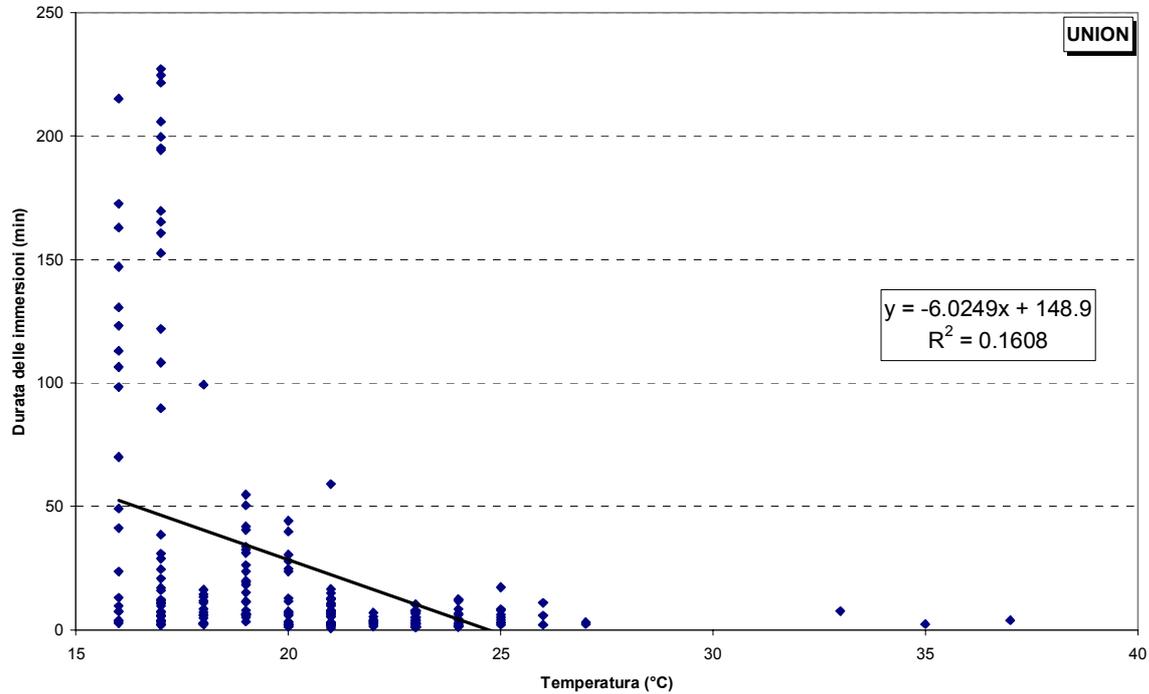


Figura 3.16. Correlazione tra la temperatura e la durata delle immersioni in Union

Per evidenziare in modo più chiaro la relazione tra la temperatura ed il comportamento di immersione delle quattro tartarughe, ne sono stati studiati gli andamenti medi trascurandone l'ordine temporale in cui sono stati effettuati, ma mettendoli in relazione alla variazione della temperatura. Le variabili comportamentali considerate sono state la durata media (Fig. 3.17; Fig. 3.18) e massima delle immersioni (Fig. 3.19; Fig. 3.20), ed il numero di immersioni (Fig. 3.21; Fig. 3.22) effettuate in ogni intervallo di 4 o 6 ore (vedi Paragrafo 2.3.3).

Grazie a questo tipo di analisi è stata messa in evidenza in modo più chiaro la similarità tra le differenti tartarughe, e confermato quanto osservato sopra, ovvero il verificarsi di una netta diminuzione della durata media e massima delle immersioni, all'aumentare della temperatura. Ovviamente il profilo di Liberty oscilla in un range più ampio di temperatura, e questo è strettamente legato al diverso periodo di osservazione e la differente area geografica in cui si trovava l'animale. Tuttavia il rapporto inversamente proporzionale tra il comportamento di immersione e la temperatura è ben chiaro in tutti e quattro i casi.

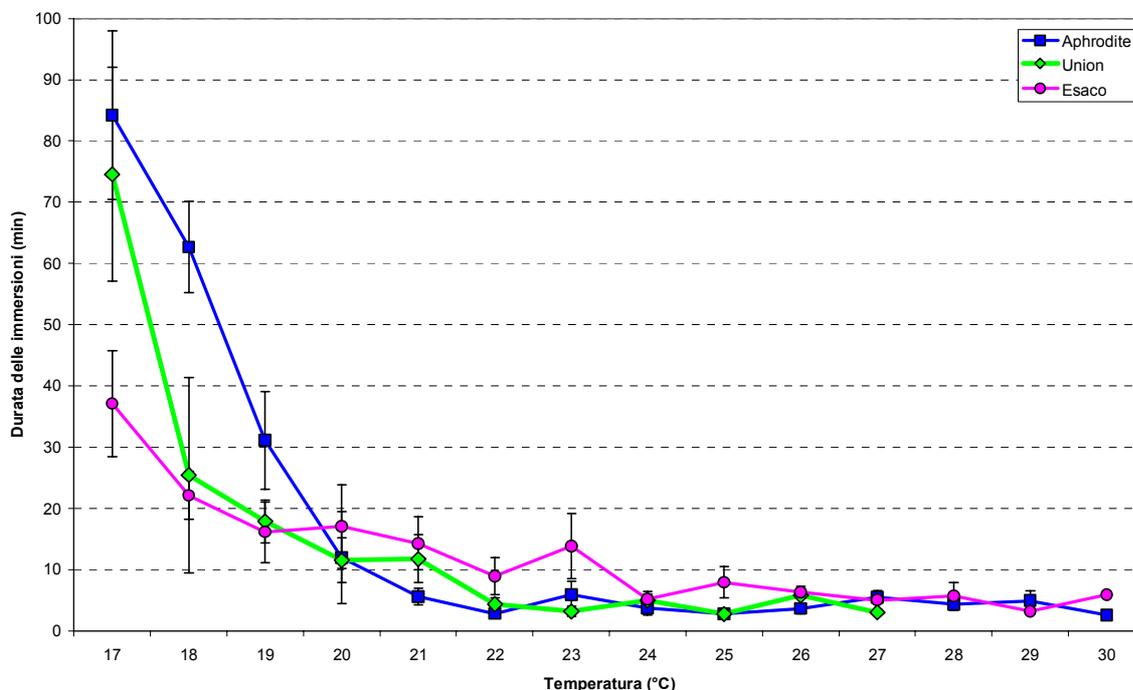


Figura 3.17 Durata media delle immersioni effettuate ogni 4 e 6 ore (vedi sopra) dalle tre tartarughe di Lampedusa al variare della temperatura (\pm DS)

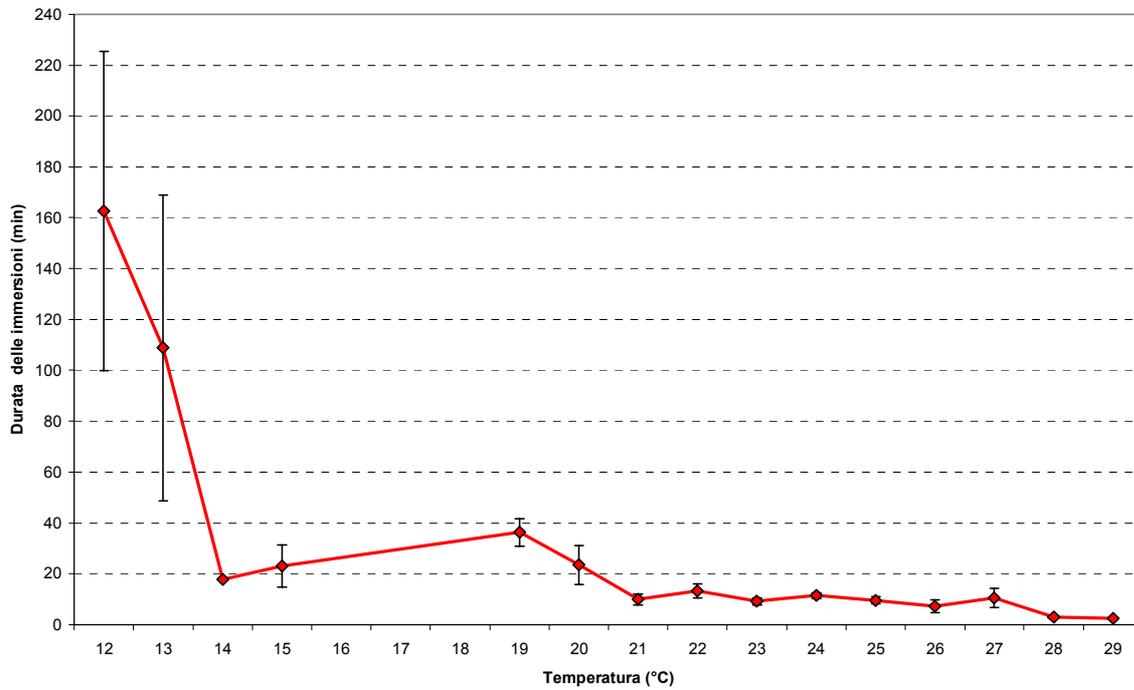


Figura 3.18 Durata media delle immersioni effettuate ogni 4 ore da Liberty (vedi sopra) al variare della temperatura (\pm DS)

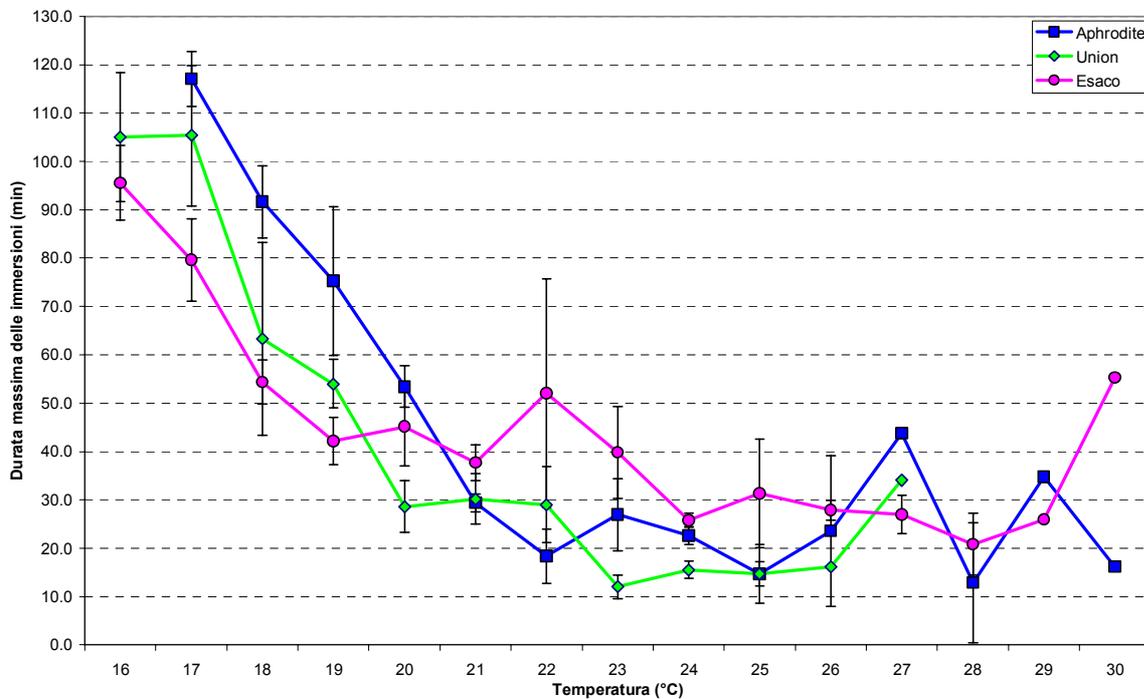


Figura 3.19 Durata massima delle immersioni effettuate dalle tre tartarughe di Lampedusa (ogni 4 o 6 ore. Vedi sopra) al variare della temperatura (\pm DS)

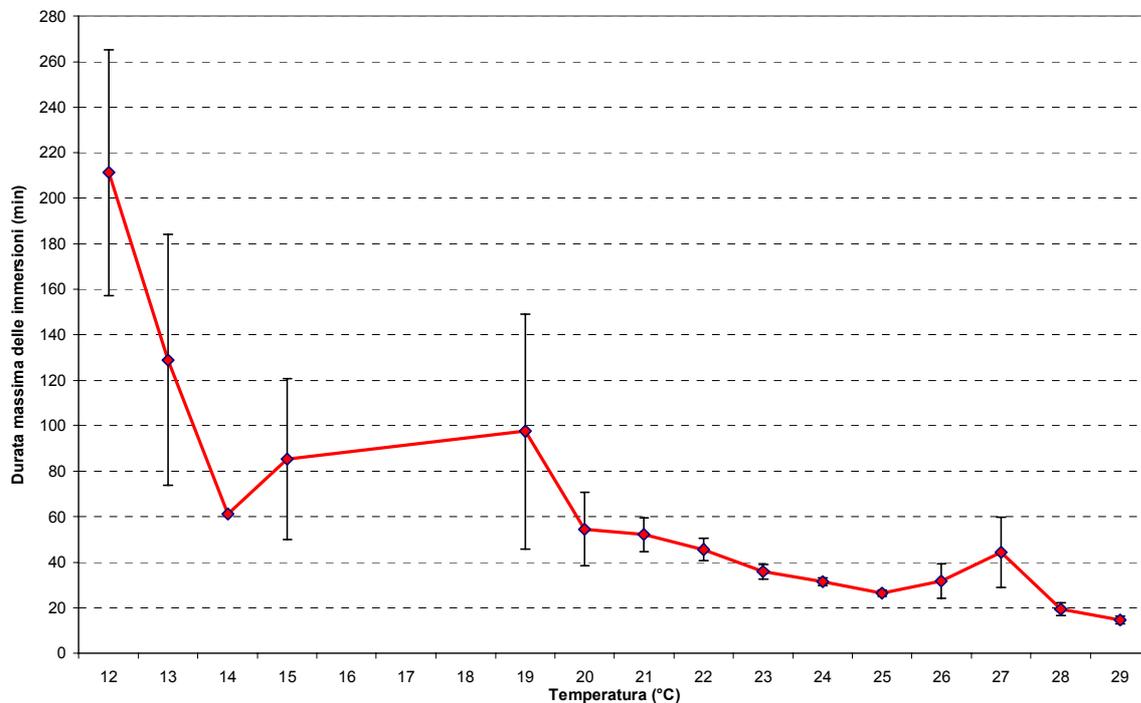


Figura 3.20 Durata massima delle immersioni effettuate da Liberty ogni 4 ore (vedi sopra) al variare della temperatura (\pm DS)

Lo stesso fenomeno si evidenzia considerando anche in questo caso il numero delle immersioni effettuate dalle tartarughe alle differenti temperature (Fig. 3.21; Fig. 3.22) : è evidente che, quando la temperatura è bassa, vengono fatte poche immersioni di durata prolungata, come sottolineato anche sopra, mentre, all'aumentare di temperatura, anche il numero delle immersioni subisce un incremento. I valori massimi come numero di immersioni sono stati raggiunti da Liberty, la quale ha effettuato, all'interno dell'intervallo di quattro ore, una media massima di quasi 110 immersioni ad una temperatura di 29°C.

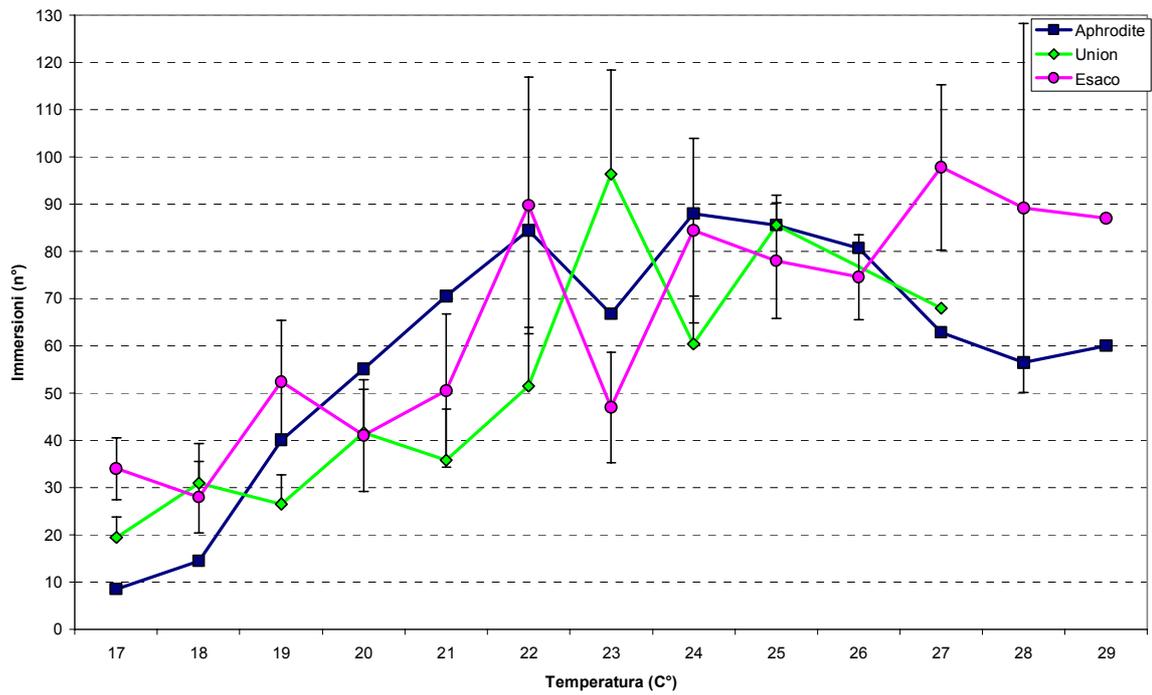


Figura 3.21 Numero medio di immersioni effettuate dalle tre tartarughe di Lampedusa (ogni 4 o 6 ore. Vedi sopra) al variare della temperatura (\pm DS)

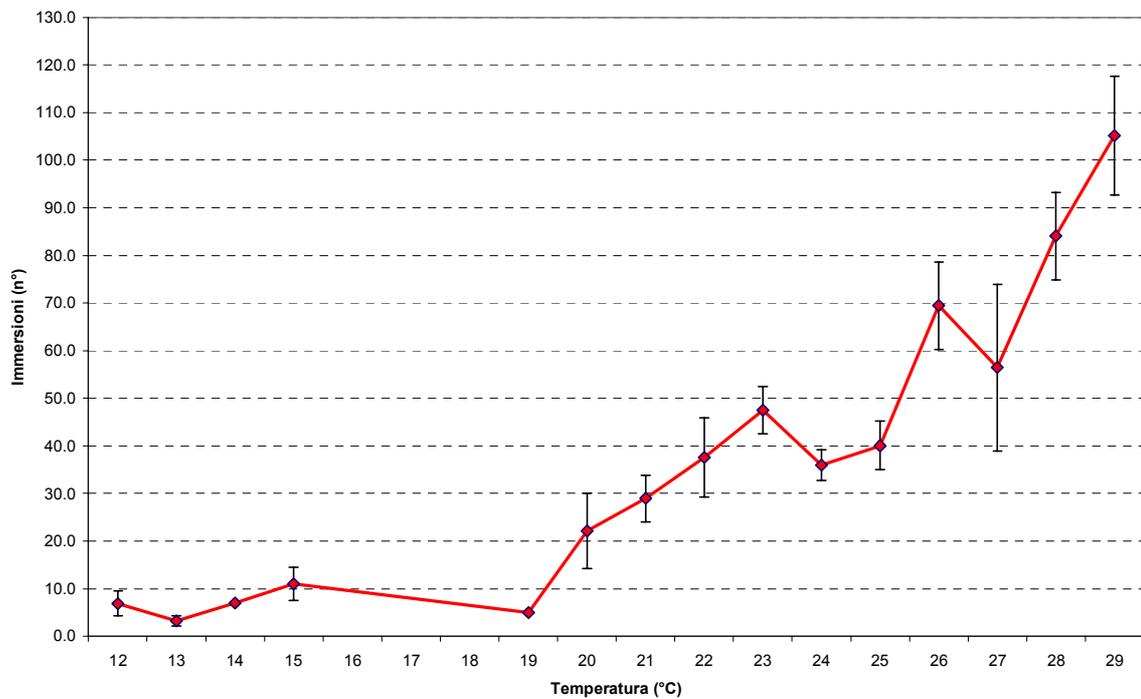


Figura 3.22 Numero medio di immersioni effettuate da Liberty (ogni 4 o 6 ore. Vedi sopra) al variare della temperatura (\pm DS)

3.3 Analisi degli andamenti nei tratti

Data l'elevata quantità di dati a nostra disposizione e la variabilità nel tipo di movimento compiuto dalle tartarughe, per effettuare una prima analisi sulle relazioni tra le variabili, è stato deciso di calcolarne i valori medi per ogni tratto in cui è stata suddivisa la rotta.

3.3.1 Velocità e Temperatura

Come già spiegato nel capitolo sui materiali e metodi, in merito alla temperatura avevamo a disposizione dati provenienti da due fonti differenti. Un primo set di valori proviene da sensori satellitari, e rappresenta un dato di *remote sensing* sulla temperatura superficiale dell'acqua (SST). Un secondo dato di temperatura si riferisce alla temperatura specifica della trasmittente, registrata quando l'animale emerge.

Tuttavia, poiché il confronto dei due set di dati non ha mostrato differenze significative (Fig. 3.23), è stato deciso di utilizzare per tutte le analisi la temperatura della trasmittente, semplicemente perché tra i due set di dati era quello che presentava il minor numero di dati non pervenuti.

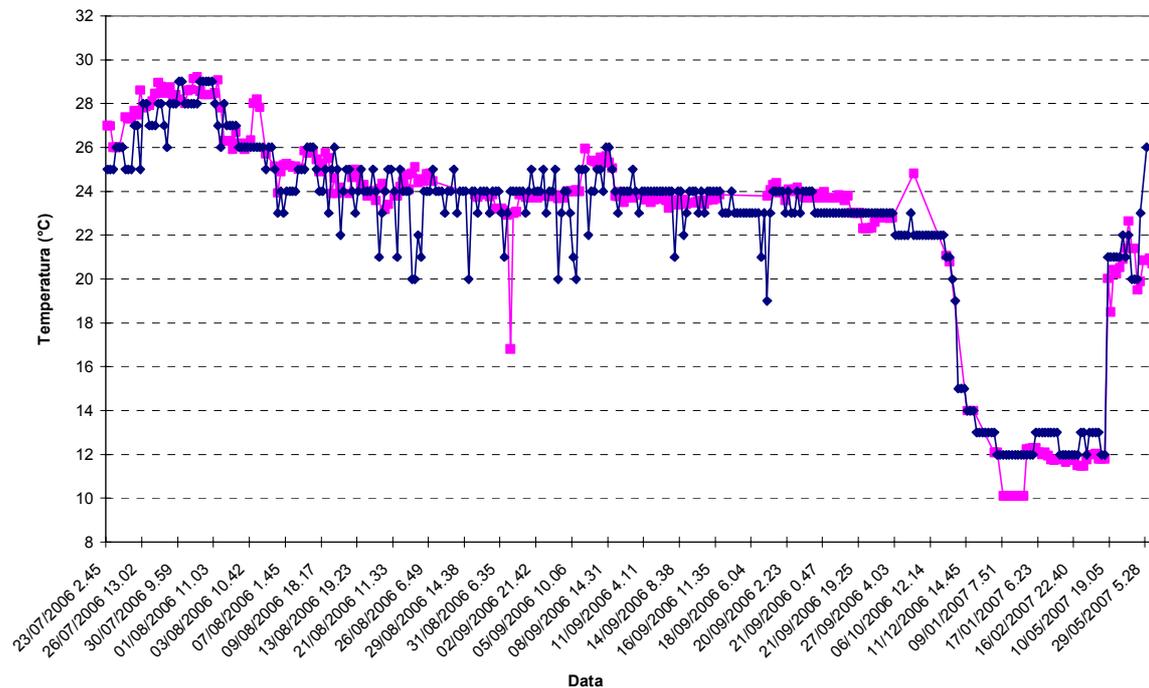


Figura 3.23 Confronto tra la temperatura registrata dal PTT (◆) di Liberty e la temperatura superficiale del mare (SST) ottenuta dai dati di remote sensing (■)

Le figure sottostanti riportano i profili riguardanti l'andamento della velocità in relazione alla temperatura nei vari tratti. Le velocità mostrate, sono state ottenute dividendo i chilometri totali percorsi in un determinato tratto per il tempo totale impiegato per compiere lo stesso, per cui è stato ottenuto un singolo dato per ogni tratto. Non sono state quindi considerate le singole velocità mantenute durante ogni segmento tra fixes successivi, a causa dell'eccessiva variabilità delle stesse.

In linea generale può essere osservato un trend comune consistente in una diminuzione della velocità media in relazione alla diminuzione della temperatura, con picchi di variabilità legati a singole situazioni particolari verificatesi all'interno di ogni singola rotta e di seguito affrontate.

Per quanto riguarda Liberty (Fig. 3.24), si osserva una diminuzione della velocità di spostamento durante il periodo che l'animale ha trascorso nella porzione più settentrionale del Mar Adriatico nei mesi invernali, in corrispondenza di una sensibile diminuzione della temperatura dell'acqua.

In Aphrodite così come per gli altri esemplari di Lampedusa, l'andamento della temperatura è differente già in partenza, visto che sono stati seguiti da inizio

primavera a fine agosto, ed in una zona non temperata come il nord Adriatico, ma subtropicale (Fig. 3.25).

La temperatura superficiale rilevata dal PTT di Aphrodite subisce un incremento nell'arco del periodo di trasmissione, ed in modo analogo anche la velocità con cui l'animale nuota. L'unica incongruenza evidente si riscontra nel tratto 17, dove è stata registrata una velocità di $0.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in corrispondenza di una temperatura di 27°C . Tuttavia, la spiegazione di tale valore non è nota.

Sia Esaco che Union, nonostante presentino un trend simile a quello descritto per gli altri soggetti di studio, hanno degli andamenti meno costanti.

Esaco (Fig. 3.26), compie continui cambiamenti di direzione, e presenta, anche all'interno dei singoli tratti, segmenti con velocità molto variabili. Nonostante ciò è possibile mettere in evidenza velocità basse (al di sotto di $1 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$) nei primi tratti della rotta, in presenza di temperature attorno ai 17°C , mentre, in corrispondenza degli ultimi tratti, nei quali le temperature hanno subito un incremento derivante dall'arrivo del periodo estivo, è stata registrata una velocità di spostamento maggiore (superiore ad $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Per quanto riguarda Union (Fig. 3.27), sono due i tratti che si discostano dal trend generale. Nel tratto 2, si osserva un valore di velocità elevato, che corrisponde ad un tratto in cui si è verificato un lungo spostamento di circa 450 km verso nord-ovest. Nel tratto 4 invece, si ha un calo di velocità in corrispondenza del soggiorno di 15 giorni effettuato da Union tra Pantelleria e Kelibia in Tunisia.

Ovviamente la velocità di spostamento all'interno di ciascun tratto non dipende unicamente dalla temperatura, ma dall'interazione di molteplici fattori, soprattutto comportamentali come la necessità di spostarsi o la volontà di trattenersi in una certa zona ad esempio per alimentarsi (vedi dopo).

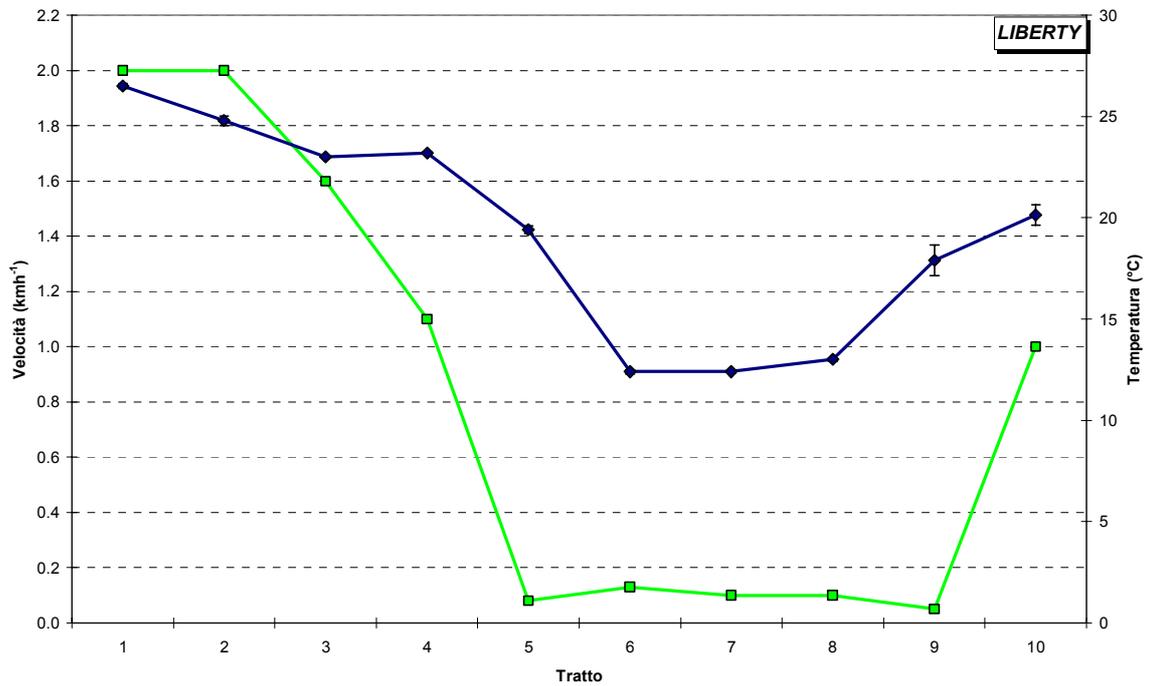


Figura 3.24 Andamento medio della velocità (■) e della temperatura (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Liberty.

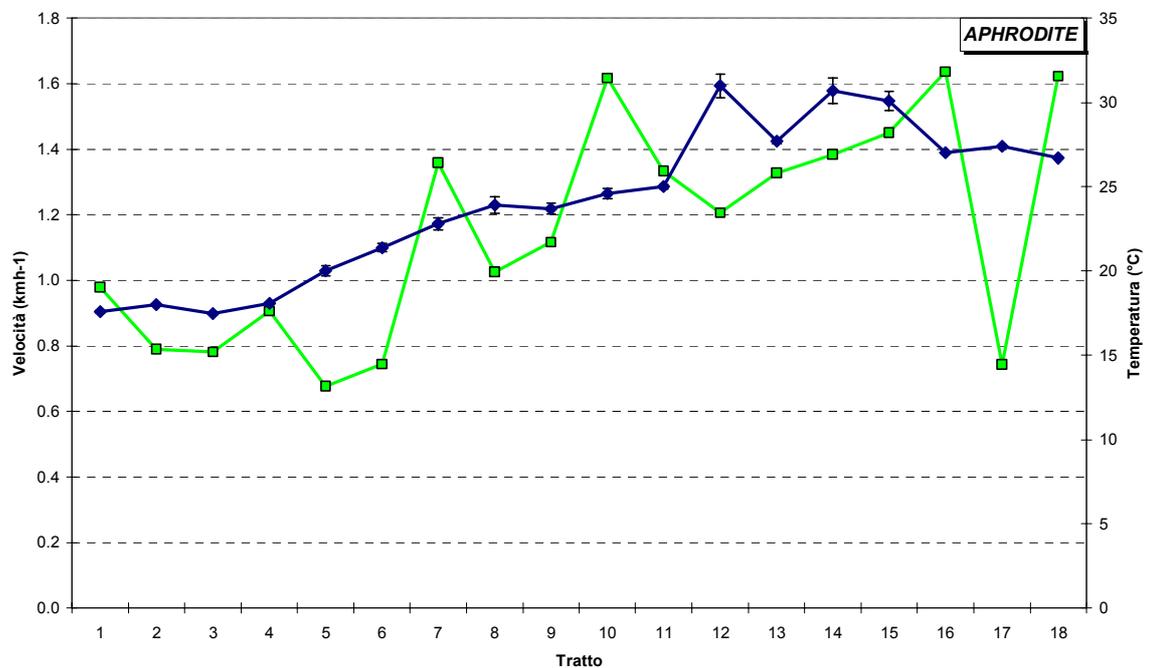


Figura 3.25 Andamento medio della velocità (■) e della temperatura (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Aphrodite.

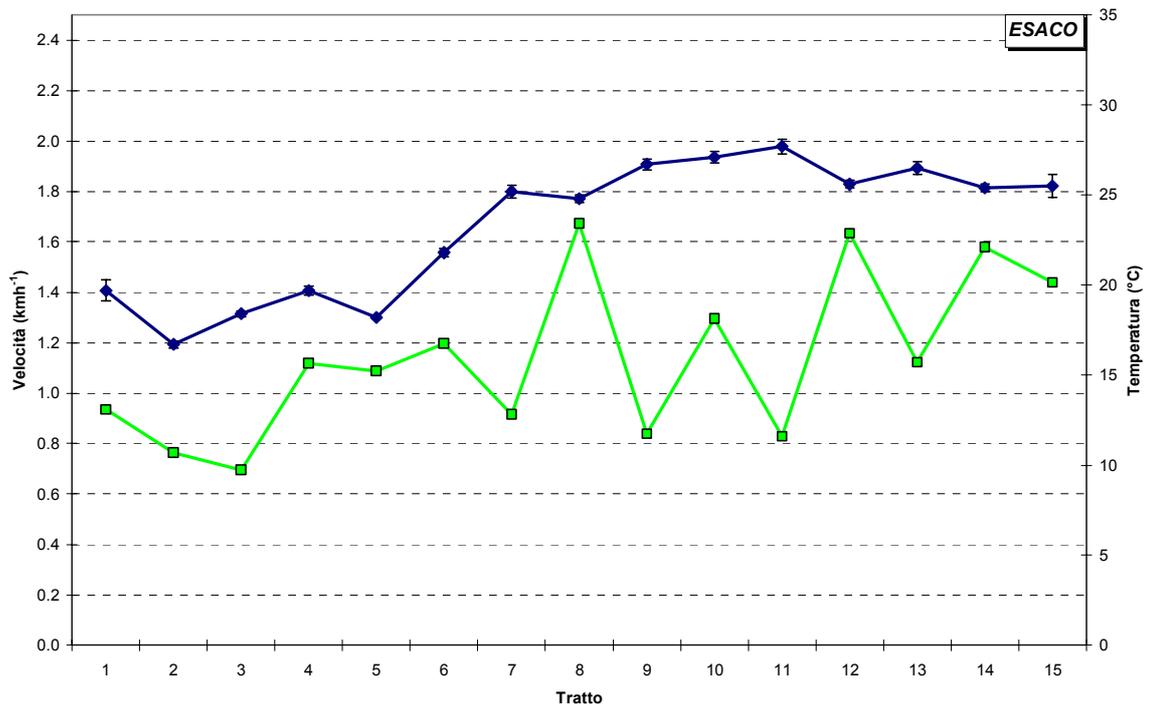


Figura 3.26 Andamento medio della velocità (■) e della temperatura (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Esaco.

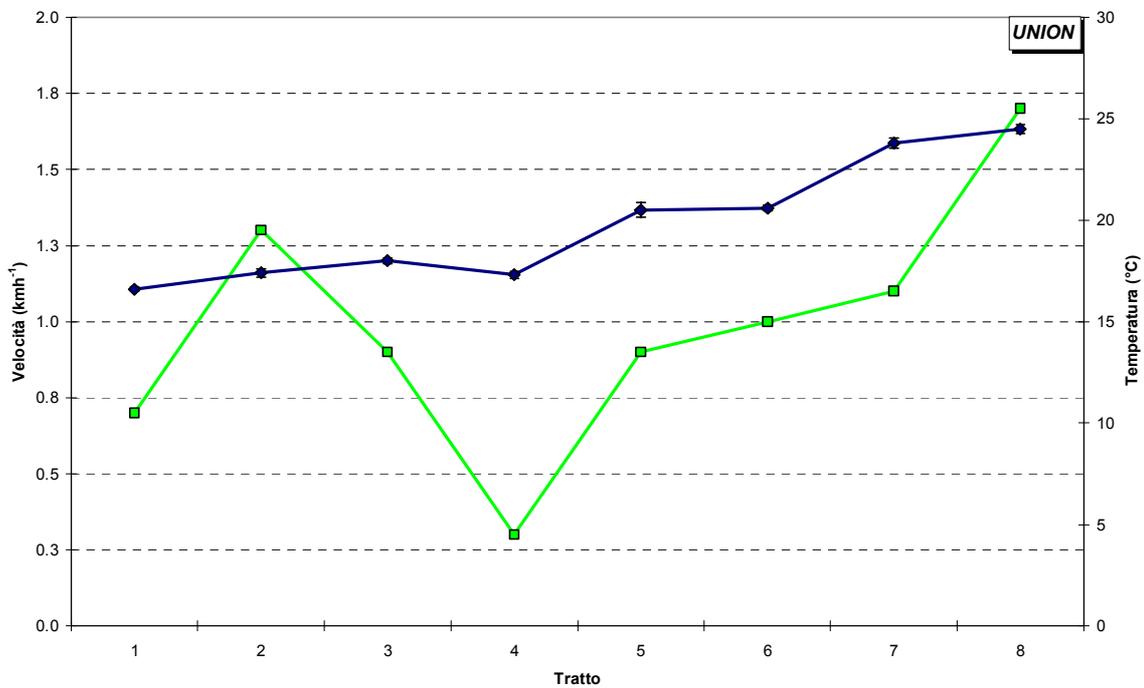


Figura 3.27 Andamento medio della velocità (■) e della temperatura (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Union.

3.3.2 Velocità e Clorofilla

E' stata poi indagata la concentrazione della clorofilla nei vari tratti, cercando di interpretare, in relazione a questa variabile, i momenti in cui sono state rilevate variazioni importanti nelle velocità di spostamento.

Ad esempio, Liberty, aveva mostrato un decremento della velocità di viaggio dal tratto 5 al tratto 9, in corrispondenza del periodo trascorso nella porzione più settentrionale del Mar Adriatico. Lo studio dell'andamento medio della clorofilla in questi tratti (Fig 3.28; Fig. 3.29), e dell'andamento della clorofilla durante l'intera rotta, ha rivelato che nel periodo che va dal 25 settembre al 16 dicembre (appunto dal tratto 5 al tratto 9), c'è stato un effettivo incremento complessivo nella concentrazione della clorofilla, che non è mai scesa al di sotto di $0.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^3$.

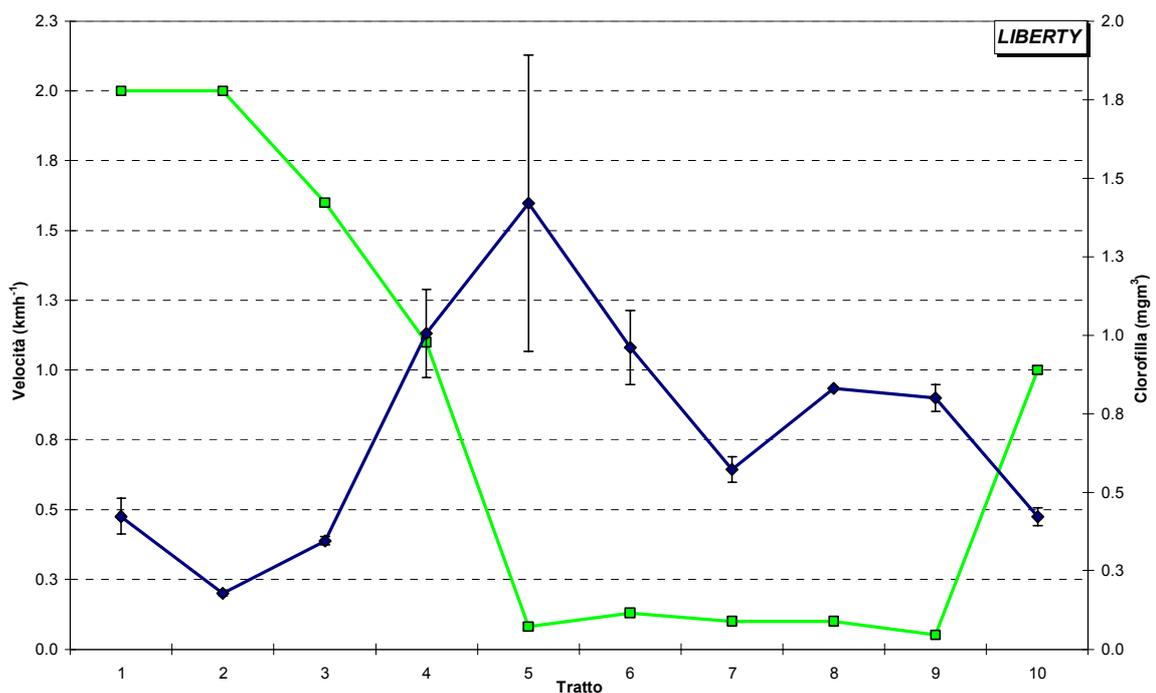


Figura 3.28 Andamento medio della velocità (■) e della clorofilla (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Liberty.

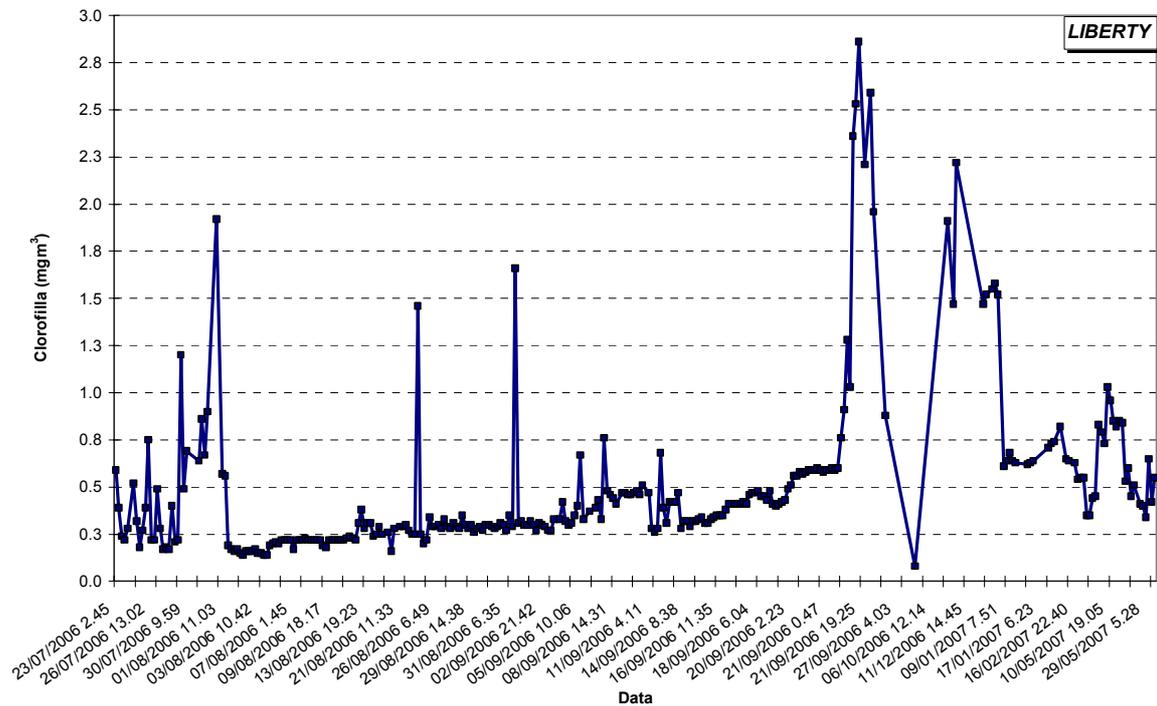


Figura 3.29 Andamento della clorofilla durante il periodo di tracking di Liberty.

Un andamento simile, ma su scala nettamente differente, è stato osservato per le tre tartarughe di Lampedusa, che si sono mosse in aree in cui la concentrazione di clorofilla raramente supera $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$.

In Aphrodite si evidenzia una progressiva diminuzione della concentrazione della clorofilla lungo tutto il tragitto, e nel complesso è possibile evidenziare una tendenza dell'animale a diminuire la sua velocità in zone con concentrazioni di clorofilla più elevate (Fig. 3.30, Fig.3.31). L'unico picco evidente nella distribuzione della clorofilla si ha in corrispondenza del tratto 6, nel quale tuttavia la tartaruga non ha esibito una altrettanto evidente riduzione della velocità (sebbene in questo tratto la velocità mantenuta sia di $0.7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, tra le più basse dell'intero tragitto).

Esaco (Fig. 3.32, Fig.3.33) mostra un incremento della concentrazione di clorofilla nei primi tre tratti della rotta che poi progressivamente decresce fino al termine della trasmissione.

Il valore più alto è stato rilevato nel tratto 3, nel quale l'animale ha stazionato tra Pantelleria e la Tunisia per circa 19 giorni. I tratti 4 e 5, che mostrano ancora delle

concentrazioni di clorofilla abbastanza elevate, si riferiscono al passaggio di Esaco vicino alle coste di Pantelleria.

In merito al rapporto con la velocità, data l'estrema variabilità di quest'ultima, non sono chiare, all'interno dei singoli tratti, specifiche relazioni tra la clorofilla e la velocità. Tuttavia, l'andamento globale evidenzia la tendenza della velocità dell'animale a diminuire quando la clorofilla in un determinato sito è presente in concentrazioni maggiori, in modo analogo a quanto già osservato nelle altre tartarughe.

L'andamento della clorofilla osservato lungo la rotta di Union (Fig. 3.34, Fig. 3.35), ricalca con buona precisione lo stesso pattern osservato in Esaco, con un incremento nei primi tre tratti, e concentrazioni via via decrescenti nei successivi. Anche in questo caso, sembra esserci una relazione tra la velocità di spostamento e la concentrazione di clorofilla. Ad esempio, sia Union che Esaco, hanno sostato rispettivamente per 19 e 15 giorni nel tratto di mare compreso tra Pantelleria e Kelibia. Tuttavia, in corrispondenza di questo tratto non è stato registrato per Union alcun incremento nella concentrazione della clorofilla, come è avvenuto invece per Esaco durante il soggiorno nella medesima zona. La concentrazione maggiore di clorofilla è stata registrata invece durante lo spostamento verso Kelibia, effettuato costeggiando le coste settentrionali dell'isola di Pantelleria.

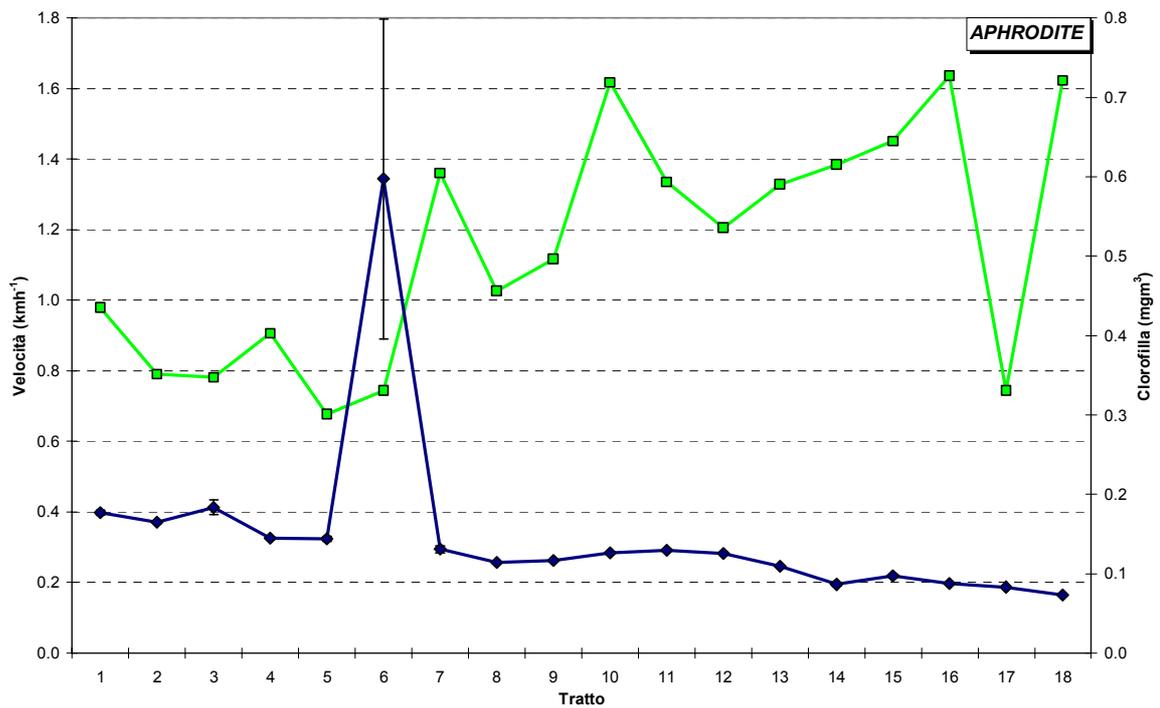


Figura 3.30 Andamento medio della velocità (■) e della clorofilla (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Aphrodite.

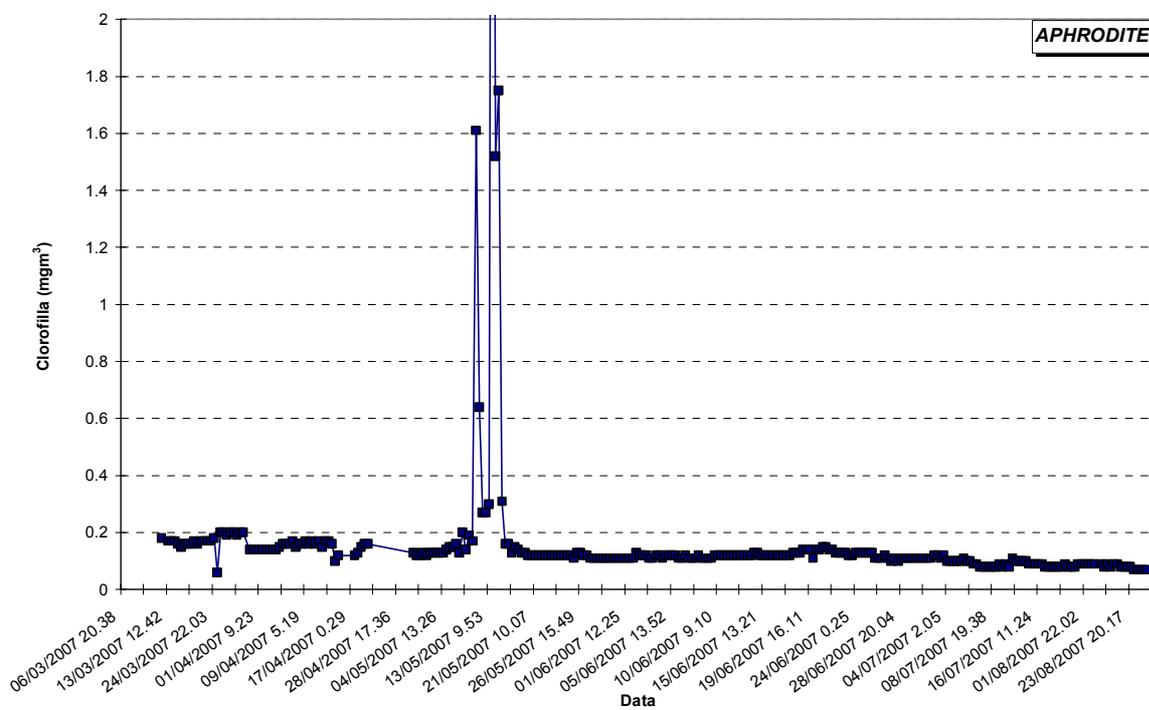


Figura 3.31 Andamento della clorofilla in Aphrodite durante il periodo di tracking. Il punto outlier ha valore di 5.3 mg·m⁻³

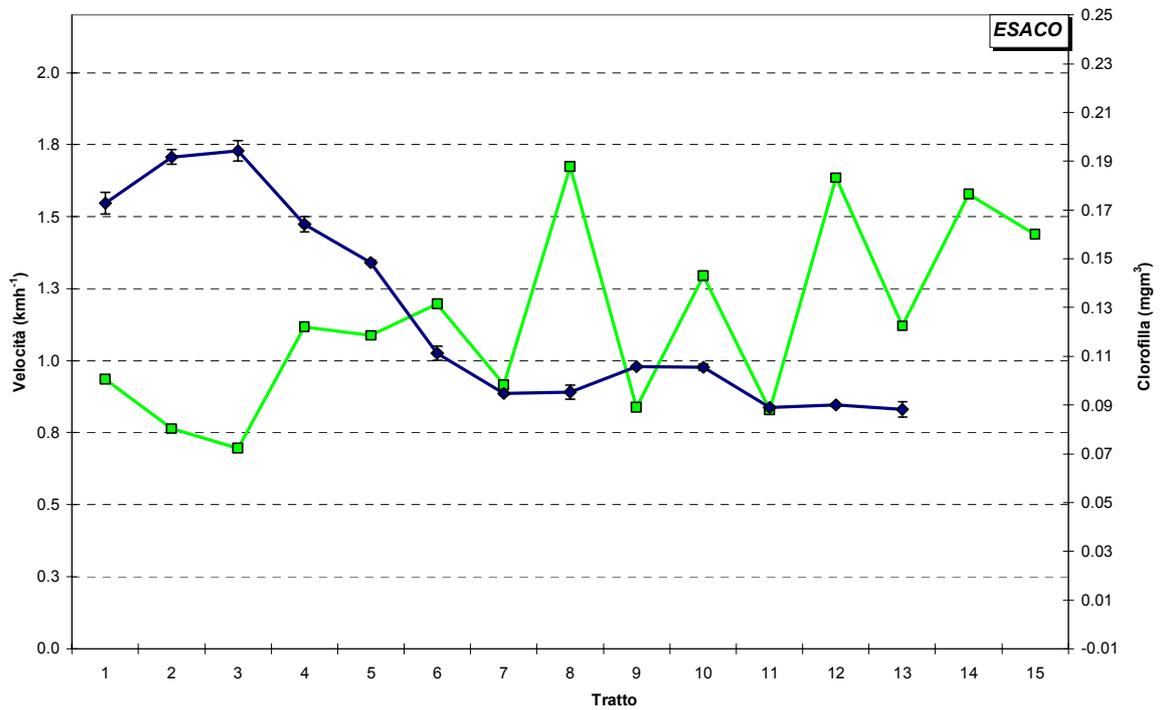


Figura 3.32 Andamento medio della velocità (■) e della clorofilla (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Esaco.

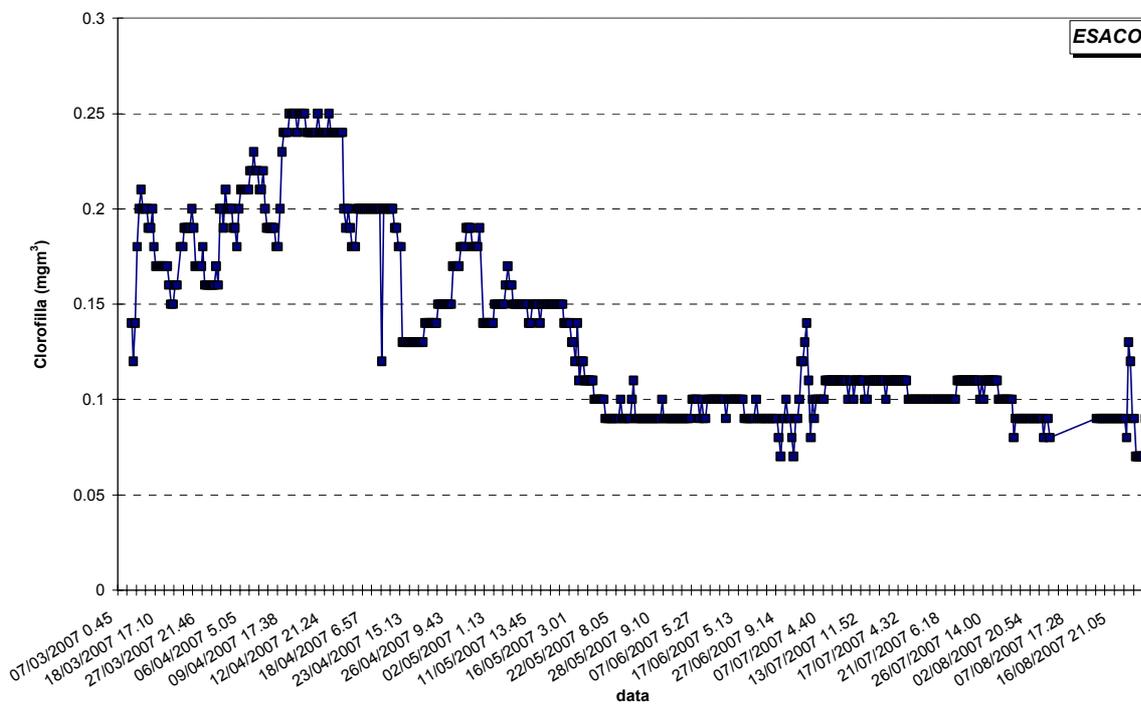


Figura 3.33 Andamento della clorofilla durante il periodo di tracking di Esaco.

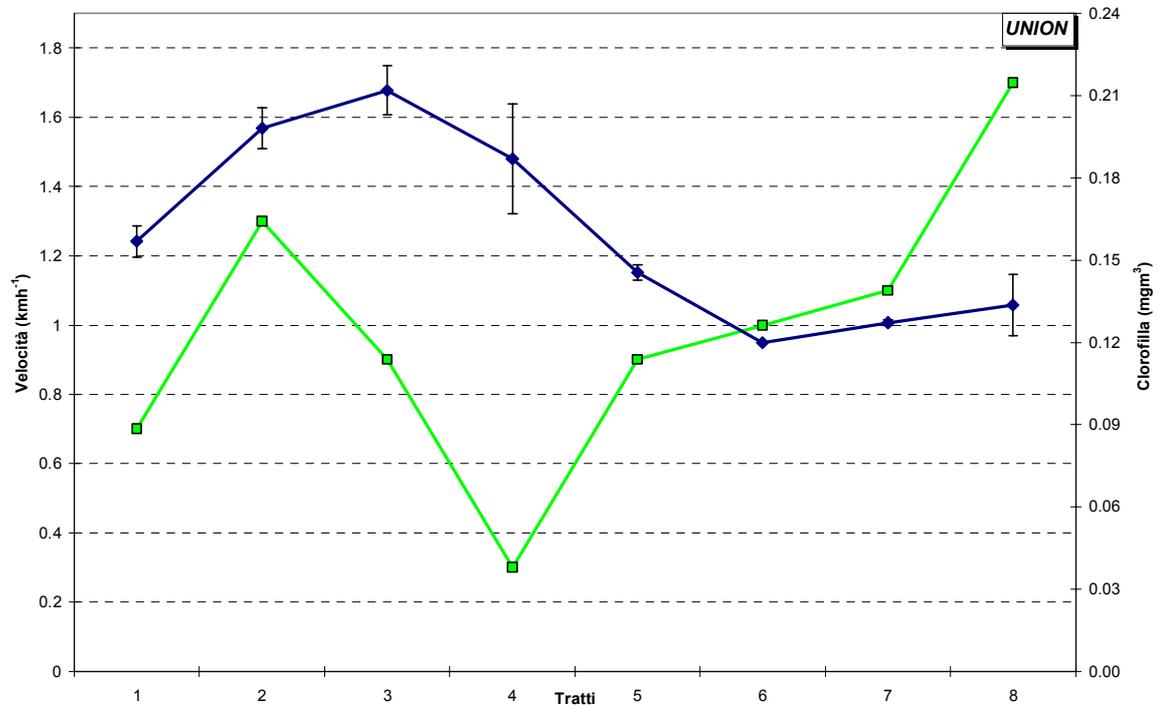


Figura 3.34 Andamento medio della velocità (■) e della clorofilla (◆) nei tratti in cui è stata suddivisa la rotta di Union.

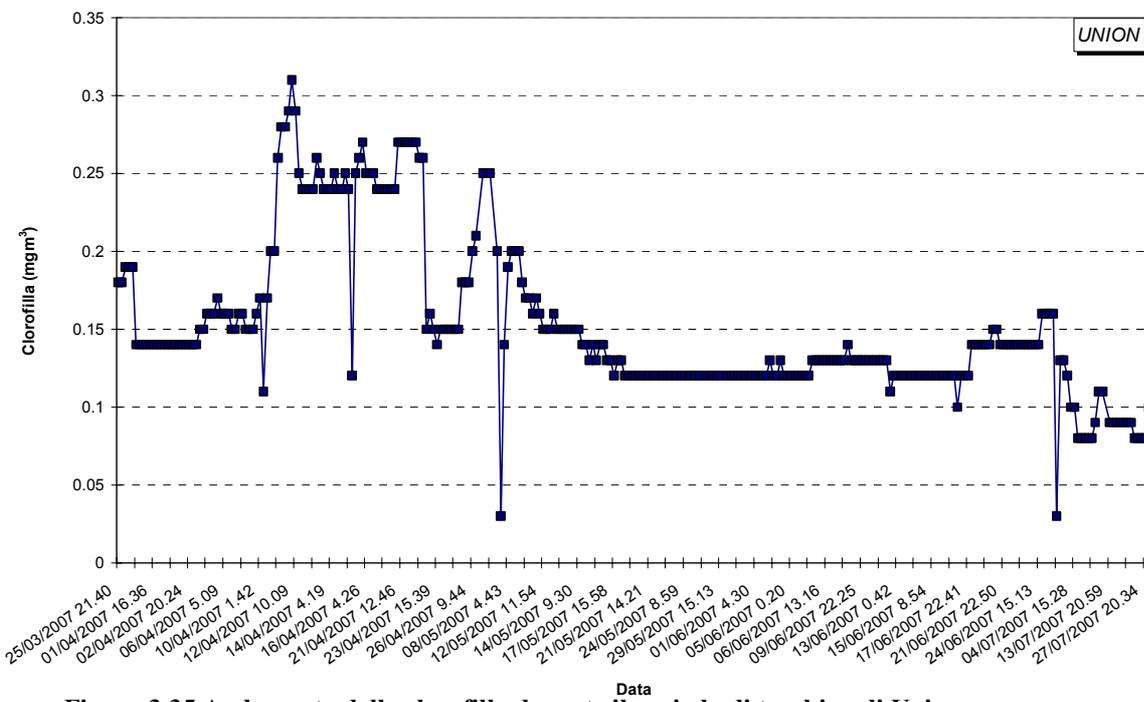


Figura 3.35 Andamento della clorofilla durante il periodo di tracking di Union.

3.3.3 Batimetria e Velocità

Lo studio della batimetria del fondale delle zone in cui le tartarughe si sono mosse ha portato a risultati interessanti per i tre esemplari di Lampedusa.

Innanzitutto è fondamentale fare una distinzione tra la definizione di ambiente neritico e quella di ambiente oceanico. Bolten nella trattazione sulle tartarughe comuni nel mediterraneo (Bolten 2003) definisce ambiente neritico, l'ambiente marino vicino alla riva in cui le profondità massime non superano i 200m e che generalmente corrisponde alle acque della piattaforma continentale, mentre si riferisce all'ambiente oceanico considerando i tratti di mare aperto, in cui le profondità sono maggiori dei 200 m (vedi dopo). In merito a tale distinzione, poiché Bolten sostiene che i giovani in fase di foraggiamento, preferiscano la zona neritica rispetto a quella oceanica, ed avendo come soggetti di studio proprio degli individui giovani, abbiamo ritenuto opportuno indagare circa tale caratteristica.

Liberty, come è stato chiaramente evidenziato dalla ricostruzione della rotta, non si è mai allontanata dal nord dell'Adriatico, e quindi, poiché in tale zona la profondità massima non supera i 80 metri, abbiamo ritenuto poco significativo studiarne il profilo batimetrico. A differenza di Liberty, gli esemplari di Lampedusa invece si sono mossi sia in aree strettamente neritiche che in aree oceaniche, per cui abbiamo preso in considerazione anche la profondità dei fondali delle zone frequentate da queste tartarughe.

I profili batimetrici del fondale evidenziano che il tempo trascorso in ambiente oceanico, per tutti e tre gli esemplari, è maggiore rispetto al tempo trascorso in ambiente neritico (Fig. 3.36; Fig. 3.37; Fig. 3.38). Più precisamente quello che si osserva è che nell'insieme, questi animali trascorrono più del 50% del tempo totale in ambiente oceanico (rispettivamente il 70% per Aphrodite, il 64% per Union e l'87% per Esaco), e che ogni spostamento che viene effettuato verso una zona oceanica non è di durata breve, ma tende a protrarsi per un periodo lungo.

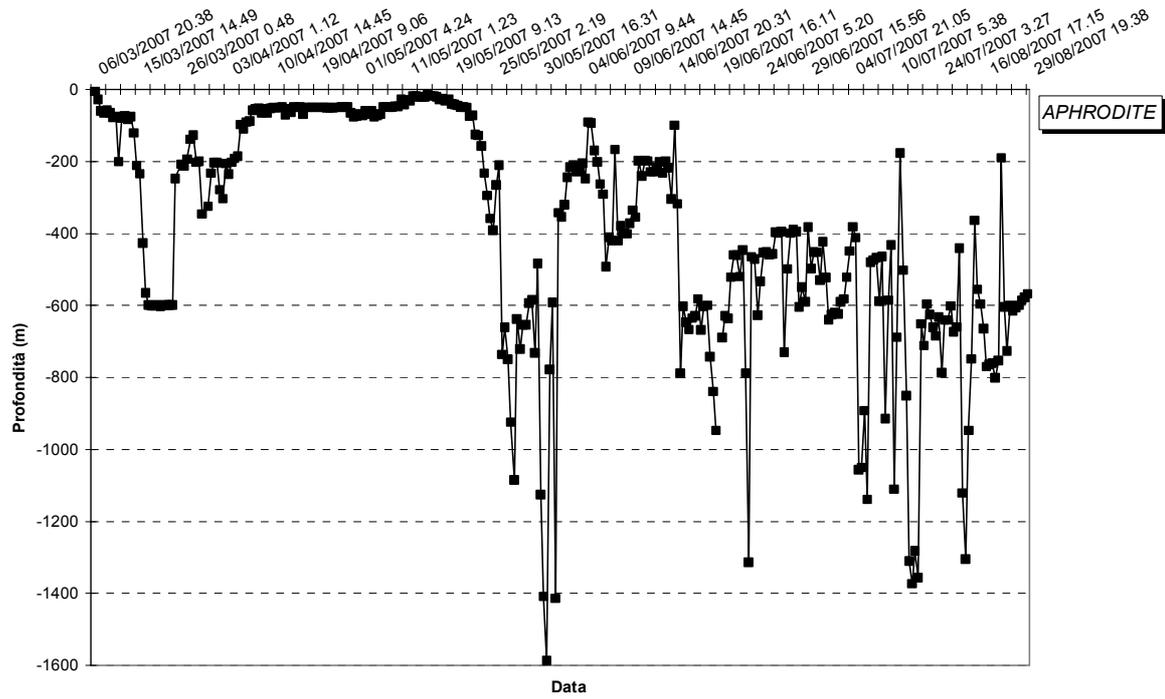


Figura 3.36 Profilo batimetrico della rotta di Aphrodite.

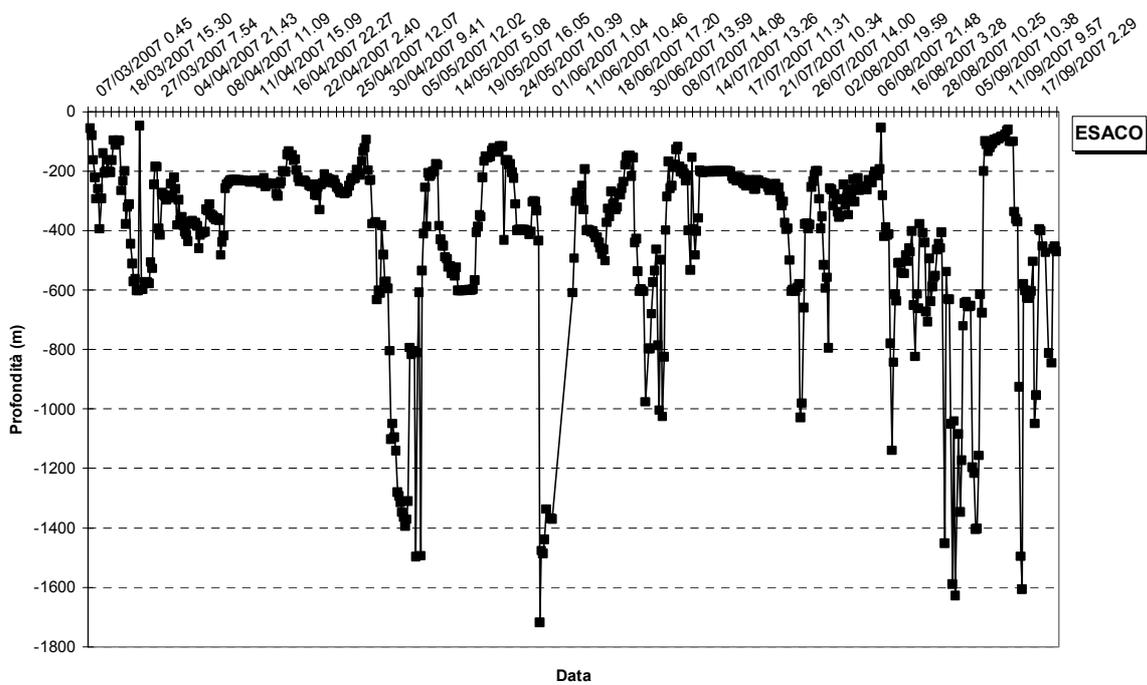


Figura 3.37 Profilo batimetrico della rotta di Esaco.

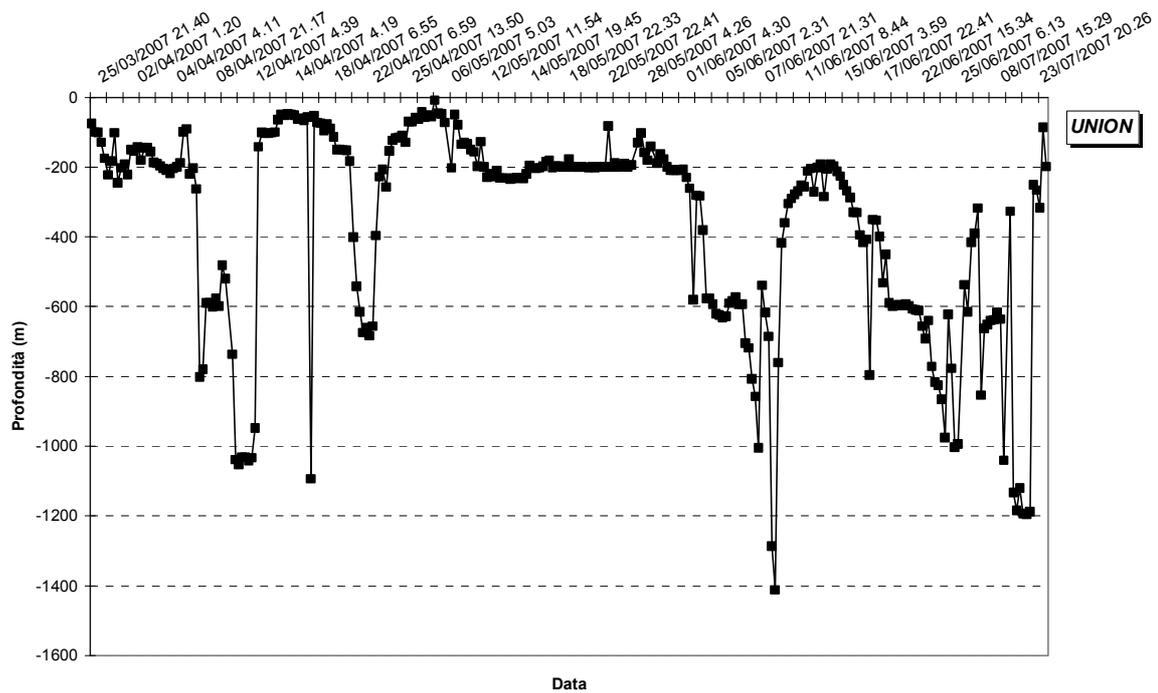


Figura 3.38 Profilo batimetrico della rotta di Union.

Dall'analisi degli andamenti medi all'interno dei tratti, è emerso un andamento interessante che riguarda la possibile relazione tra la batimetria del fondale e la velocità di spostamento delle tartarughe.

Tutti e tre gli esemplari tendono a mantenere una velocità minore quando si trovano prevalentemente in ambiente neritico, o comunque in acque meno profonde, mentre aumentano la velocità di spostamento nel momento in cui si trovano in acque oceaniche (Fig. 3.32; Fig. 3.33; Fig. 3.34).

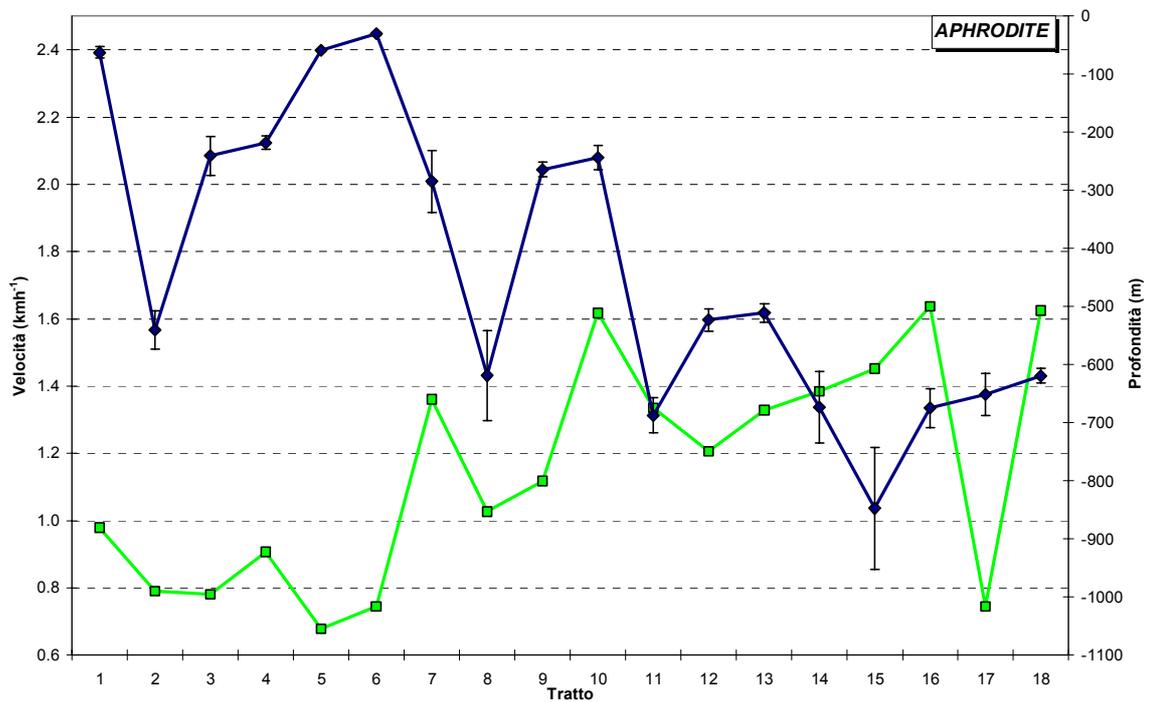


Figura 3.39 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Aphrodite, e la profondità media (◆) dei tratti di mare attraversati nel corso degli stessi.

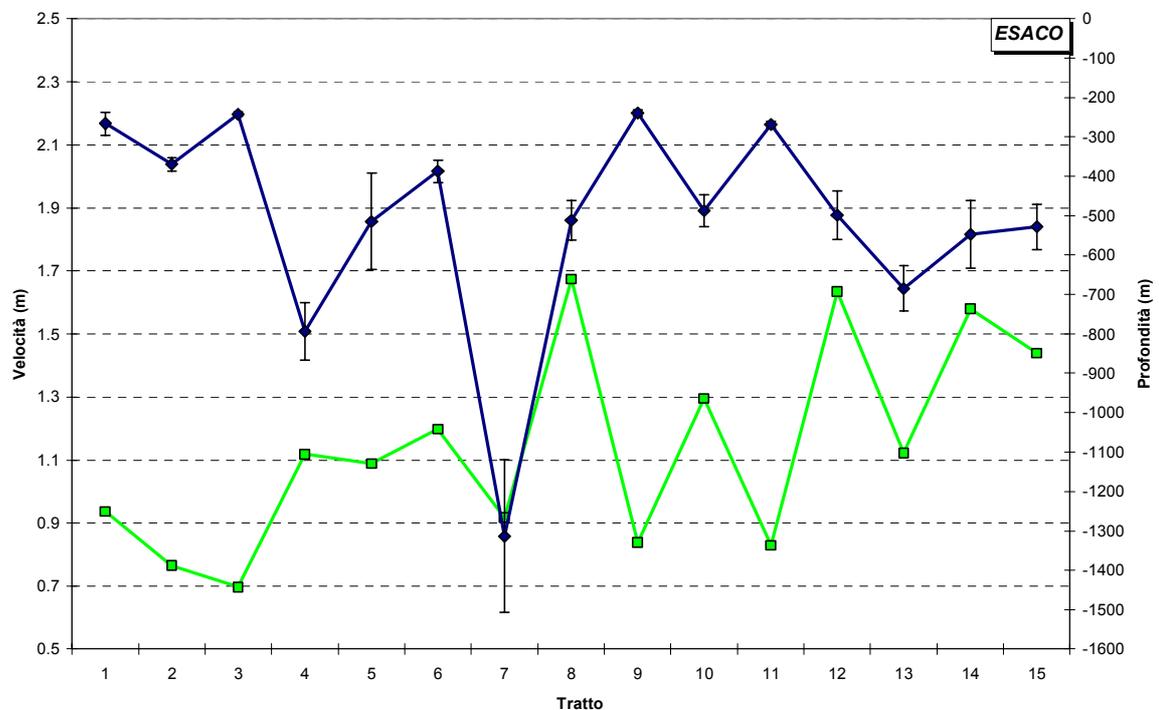


Figura 3.40 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Esaco, e la profondità media (◆) dei tratti di mare attraversati nel corso degli stessi.

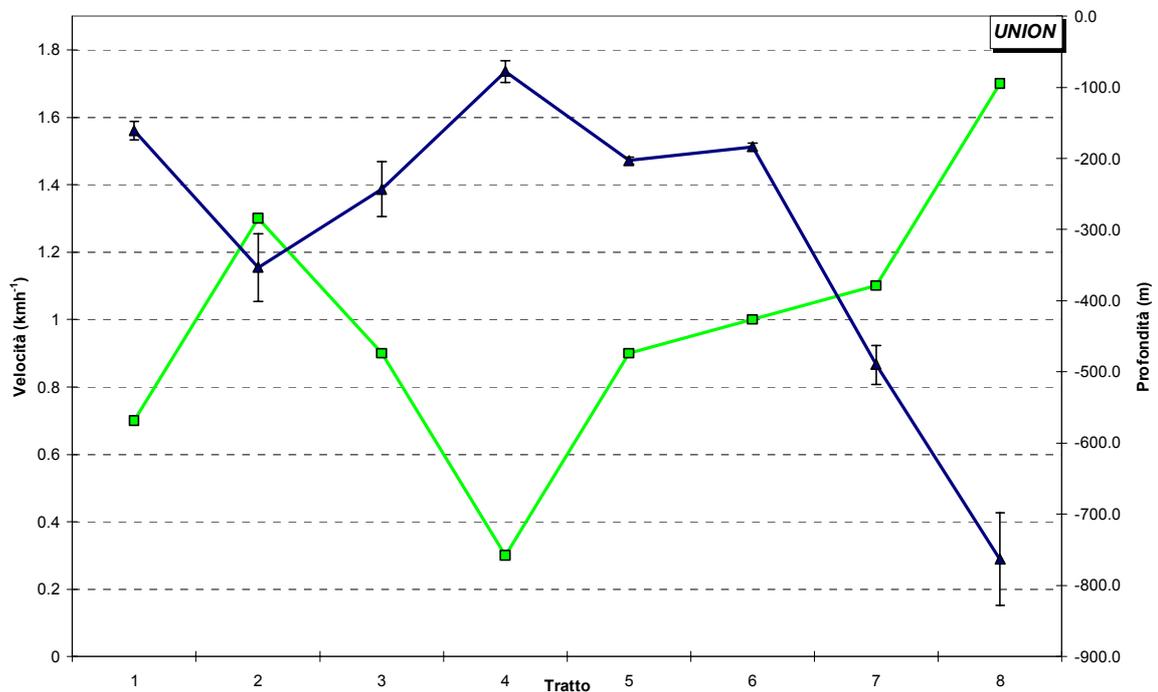


Figura 3.41 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Union, e la profondità media (◆) dei tratti di mare attraversati nel corso degli stessi.

3.3.4 Velocità e Durata Media delle Immersioni

E' stata infine valutata la relazione tra la durata media delle immersioni e la velocità di spostamento media tenuta dall'animale all'interno di ciascun tratto (da Fig. 3.42 a Fig. 3.45).

L'analisi dei grafici indica una relazione inversamente proporzionale tra le 2 variabili: pare cioè che l'animale compia lunghe immersioni quando si muove con velocità basse, mentre durante gli spostamenti più rapidi, le immersioni sono caratterizzate da una durata minore.

E' interessante notare come la durata delle immersioni raggiunge due picchi massimi in Liberty (Fig. 3.42) ed Union (Fig. 3.45), rispettivamente nei tratti 7 e 4, in corrispondenza dei quali i due animali si sono trattenuti all'interno di una precisa area per un periodo di tempo prolungato (Tab. 3.1; Tab. 3.4).

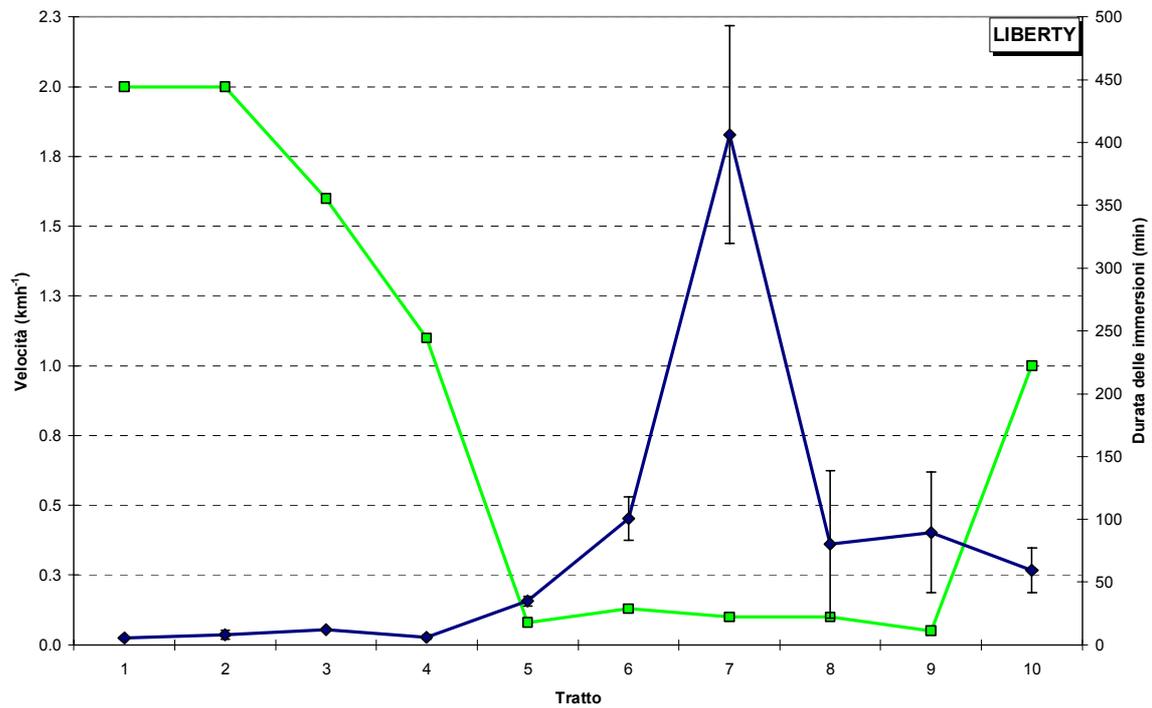


Figura 3.42 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Liberty, e la durata media delle immersioni (◆) misurata ad intervalli di 4 ore (vedi sopra).

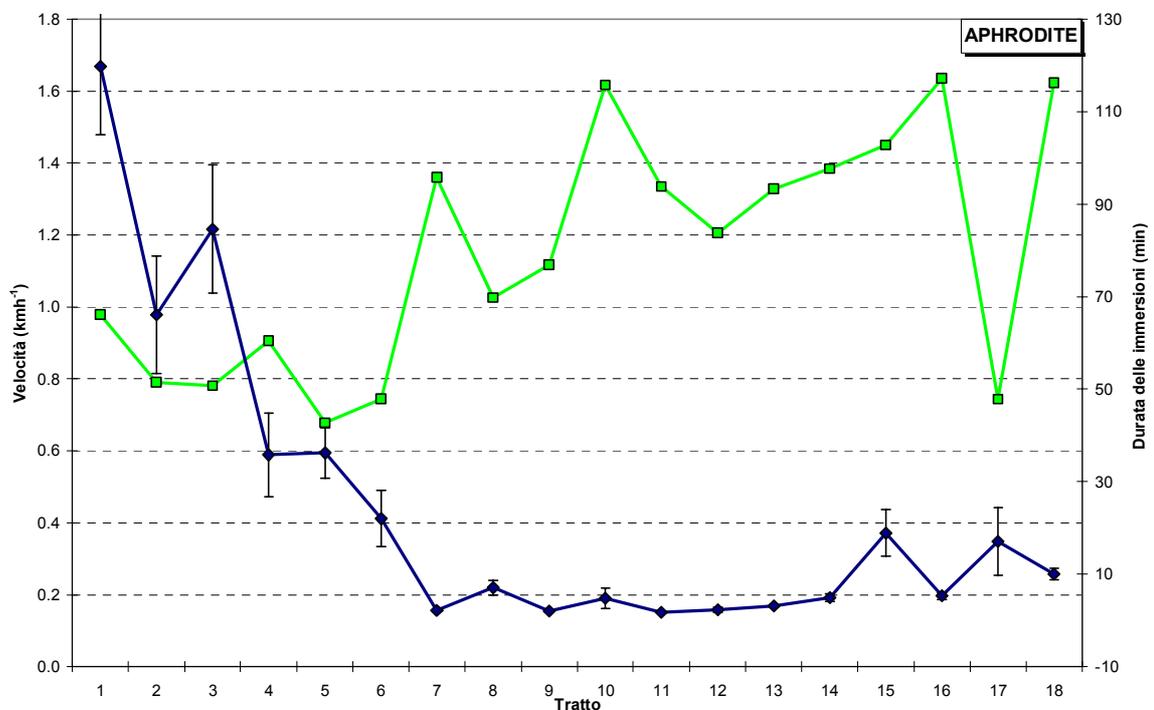


Figura 3.43 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Aphrodite, e la durata media delle immersioni (◆) misurata ad intervalli di 4 ore (vedi sopra).

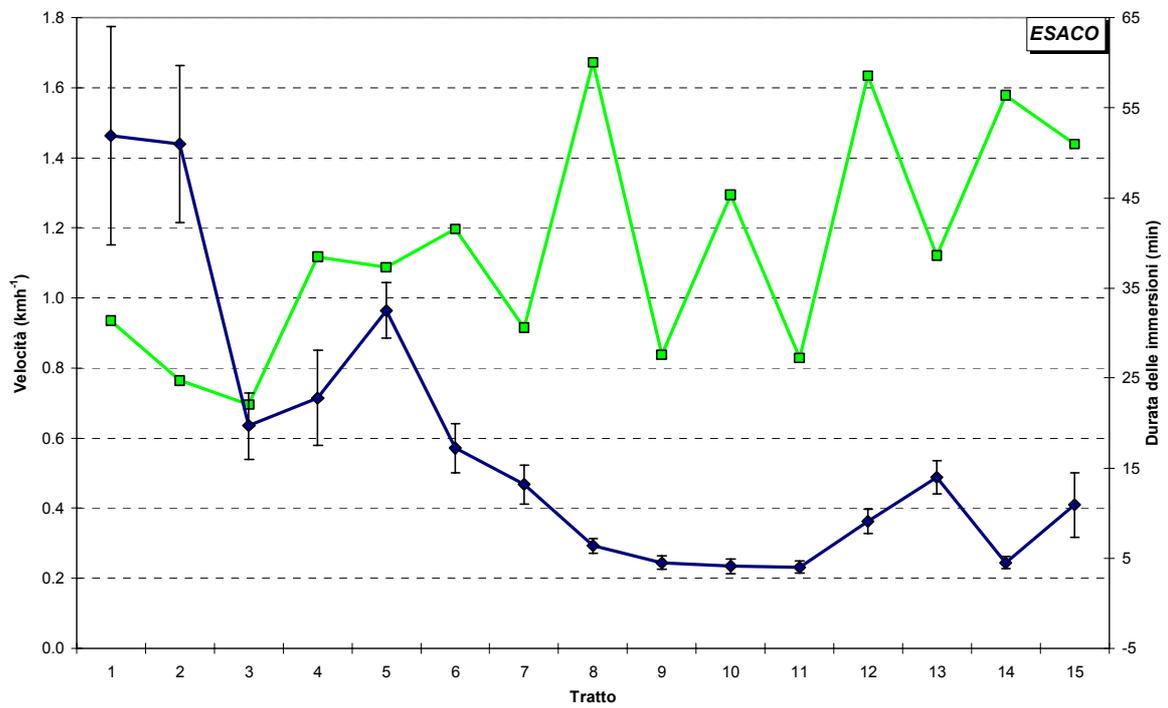


Figura 3.44 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Esaco, e la durata media delle immersioni (◆) misurata ad intervalli di 6 ore (vedi sopra).

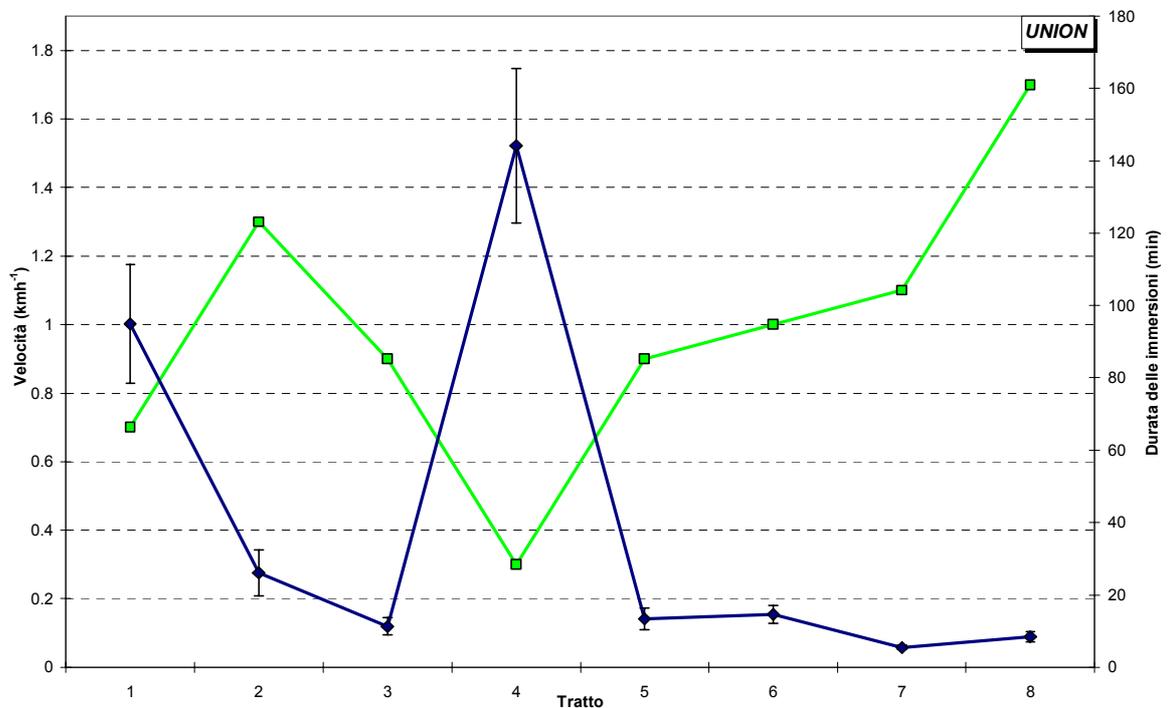


Figura 3.45 Confronto tra la velocità media (■) mantenuta durante i vari tratti da Union, e la durata media delle immersioni (◆) misurata ad intervalli di 4 ore (vedi sopra).

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Lo studio effettuato nella presente tesi costituisce uno dei primi esempi in cui sia stato possibile, tramite tecniche di telemetria satellitare, ricostruire ed elaborare in modo dettagliato la rotta ed il comportamento di immersione esibito da giovani di tartaruga comune localizzati in differenti aree del Mediterraneo.

Nel complesso, la ricostruzione delle rotte seguite dalle tartarughe comuni prese in esame in questo lavoro, ha confermato l'importanza del Golfo di Gabès e del Mar Adriatico settentrionale come aree di foraggiamento ottimali all'interno del Mediterraneo. Queste informazioni assumono ancora più rilevanza se si considera che la maggior parte dei dati attualmente disponibili sui giovani deriva unicamente da esperimenti di cattura, marcatura e ricattura (Margaritoulis et al. 2003), che ovviamente forniscono solo informazioni molto generali sugli spostamenti effettuati.

Dopo il rilascio in luglio, Liberty si è spostata inizialmente verso la costa croata, ha risalito l'Adriatico fino all'estremità settentrionale, trascorrendo parte dei mesi invernali (fino a fine dicembre) nel Golfo di Trieste, e poi è tornata verso sud, muovendosi per il restante periodo di trasmissione nel tratto di mare compreso tra il golfo di Venezia e la penisola d'Istria. Sebbene il nord dell'Adriatico sia l'area più fredda di tutto il Mediterraneo, non è la prima volta che viene evidenziata la presenza di tartarughe giovani in questa zona durante l'inverno (Casale et al. 2004). Infatti, i risultati ottenuti per Liberty, non fanno altro che confermare i dati disponibili sulle ricatture nell'Adriatico settentrionale, i quali mostrano come i giovani si trattengano in questa area nelle differenti stagioni (Margaritoulis et al. 2003). Difatti, sebbene questa zona rappresenti un habitat neritico apparentemente ottimale, solo i giovani tendono a permanere in questa zona anche durante i mesi più freddi, mentre gli adulti sembrano attuare movimenti stagionali tra vari territori di foraggiamento che si trovano ad esempio lungo le coste adriatiche meridionali, quelle ioniche e dell'isola di Creta (Vallini et al. Poster ISTS 2006; Bentivegna 2005; Hochscheid et al. 2004; 2007). L'unica evidenza di migrazioni stagionali per i giovani si riferisce ad

individui presenti in una piccola area nella parte più settentrionale dell'Adriatico (oltre 45°N), dove le temperature in inverno scendono al di sotto degli 11 - 12°C e da cui anche i giovani sembrano allontanarsi d'inverno (Lazar et al.2003). In effetti, anche Liberty ha mostrato un tale comportamento nel momento in cui la temperatura del mare nel Golfo di Trieste ha raggiunto i 13°C, inducendolo a spostarsi verso sud, nella zona antistante la penisola d'Istria.

E' inoltre interessante sottolineare che i dati di Liberty avvalorano ulteriormente l'ipotesi secondo cui l'area maggiormente attrattiva all'interno dell'Adriatico, dal punto di vista del foraggiamento, sia la porzione nord-orientale (Margaritoulis et.al 2003). Come già discusso, è possibile interpretare tale preferenza da parte delle tartarughe come risultato delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque lungo le coste della Croazia, le quali presentano un andamento caratteristico delle temperature durante la stagione fredda (che oscillano tra i 12.5°C ed i 13.5°C, sebbene alla medesima latitudine sulla costa occidentale, la temperatura si aggiri attorno agli 8°C), nonché fenomeni di risalita di acque profonde ricche di nutrienti.

Un'ulteriore conferma sui siti di foraggiamento frequentati dai giovani nel bacino orientale del Mediterraneo, emerge dalle rotte ricostruite dei tre esemplari rilasciati da Lampedusa, che sono rimasti a foraggiare nel Mediterraneo Centrale, in un area spazialmente definita tra il tratto di mare a sud-est della Sicilia ed il Golfo di Gabès, confermando pertanto l'importanza di questa area come sito di foraggiamento. Esse hanno comunque compiuto notevoli spostamenti durante il periodo di tracking coprendo in un arco di tempo di 3 - 6 mesi, tra i 2500 km ed i 5200 km, e quindi un tragitto che avrebbe potuto portarle anche molto lontano dal sito di rilascio.

In quest'ottica, i movimenti esibiti dai giovani di tartaruga comune in questo studio durante il foraggiamento, si discostano notevolmente da quelli degli adulti, che in genere si mantengono invece in zone specifiche e di limitata estensione durante i periodi di foraggiamento non riproduttivi (Papi et al. 1997; Luschi et al. 2003). Questo pattern comportamentale è stato rilevato anche in tartarughe comuni adulte del Mediterraneo (Godley et al. 2003), alcune delle quali avevano i loro siti di foraggiamento proprio nel golfo di Gabes (Broderick et al. 2007). Tra le tartarughe

del nostro studio, solo Emiliano ha mostrato una fedeltà estrema ad un'area circoscritta presso le secche della Meloria, al largo di Livorno. In questo caso, però, la relativamente ridotta durata del tracking non ci ha permesso di estendere queste osservazioni per un periodo prolungato. Non è stato possibile determinare, ad esempio, se Emiliano avrebbe mantenuto questa fedeltà al sopraggiungere della stagione fredda e del conseguente raffreddamento delle acque nella zona di foraggiamento. D'altra parte, anche Liberty e le tre tartarughe di Lampedusa sono rimaste entro un'unica area, seppure di estensione ben maggiore rispetto a Emiliano (l'Adriatico nord-orientale e tra le coste della Tunisia e la Sicilia), cui hanno mostrato fedeltà per lunghi periodi.

L'utilizzo di sensori in grado di rilevare dati comportamentali ed ambientali, nonché l'impiego di dati derivanti da tecniche di remote sensing, si è rivelato un ottimo metodo per interpretare in modo approfondito il pattern di attività delle tartarughe che hanno esibito movimenti sostanziali (ad eccezione di Emiliano).

Una prima evidenza dell'influenza delle variabili ambientali sul comportamento di questi animali è emersa dallo studio delle temperature del mare delle aree frequentate dagli animali, la quale ha giocato un ruolo estremamente importante nel determinare variazioni nella velocità di spostamento e nel comportamento di immersione di tutte le tartarughe considerate. In presenza di temperature basse, la velocità di spostamento mantenuta dalle tartarughe è risultata minore, mentre essa aumenta quando la temperatura dell'acqua è più elevata. Questo fenomeno è probabilmente legato ai livelli generali di attività degli animali, che si riducono in presenza di acque più fredde. Ad esempio, l'incremento nel numero delle catture accidentali di giovani e adulti durante il periodo invernale nell'Adriatico settentrionale sembra essere parzialmente dovuto alla maggiore vulnerabilità di questi animali alle basse temperature, in corrispondenza delle quali esse diminuiscono l'attività di nuoto, mostrando una maggiore difficoltà nell'evitare le reti dei pescatori.

In tale contesto, Liberty ci ha permesso di indagare circa un altro aspetto interessante, sebbene ancora poco conosciuto, di questi animali, ovvero il comportamento di ibernazione.

Durante l'inverno le temperature dell'acqua in quasi tutto il Mediterraneo scendono regolarmente al di sotto dei 15°C, e quindi una tartaruga al fine di rimanere in acque relativamente calde dovrebbe compiere lunghi spostamenti fino a raggiungere l'estremità del bacino orientale (Brankart et al.1998). Tuttavia, sono state osservate più volte tartarughe trascorrere l'inverno in differenti aree del Mediterraneo e non solo a latitudini relativamente basse come nel sud dell'Italia (Bentinvegna et al. 2002), in Grecia (Bentinvegna 2002) e in Tunisia (Laurent et al.1994), ma anche nell'alto Adriatico (Lazar et al.2004). In effetti appositi studi di telemetria hanno rilevato che le tartarughe in questo contesto entrano in uno stato di "dormienza", caratterizzato da lunghe immersioni (anche di varie ore) e da movimenti nulli o molto limitati con conseguenti velocità bassissime di spostamento (Hochscheid et al. 2004; 2007). Sia le tartarughe di Lampedusa che Liberty hanno mostrato questo tipo di comportamento durante il periodo invernale. Per Aphrodite, Esaco e Union, sono stati registrati, nell'arco delle quattro ore, delle immersioni con durata media rispettivamente di circa 84, 37e 75 min in corrispondenza di una temperatura di 17°C (mentre, ad esempio, a 30°C, tale durata media di immersione non superava mai i 6 minuti). Tuttavia, le immersioni più prolungate sono quelle effettuate da Liberty, che in presenza di una temperatura dell'acqua di 12° C, ha effettuato immersioni con una durata media di oltre 163 min, ed un picco massimo di 530.5 minuti di immersione (contro solo 3 minuti a temperature di circa 29°C). Durante questo comportamento di ibernazione, si ritiene che le tartarughe riducano il loro tasso metabolico (fenomeno che si verifica di per sé alle basse temperature; Hochscheid et al.2004), e che, le emersioni per respirare seppur di breve durata, siano sufficienti ad evitare l'esigenza di passare ad un metabolismo di tipo anaerobico (Hochscheid et al. 2004).

Ovviamente questa non è la sola possibile spiegazione circa i fattori coinvolti nelle variazioni della velocità di spostamento e del comportamento delle tartarughe, che sono influenzati da altre variabili oltre la temperatura. I fattori comportamentali legati all'alimentazione ad esempio sicuramente determinano variazioni nel comportamento delle tartarughe. Il soggiorno in aree caratterizzate da alte

concentrazioni di clorofilla e quindi caratterizzate da un'elevata produttività primaria, determina una diminuzione della velocità di spostamento, poiché l'animale tende a stazionare per nutrirsi. Ciò risulta evidente dall'analisi complessiva del comportamento delle tartarughe in relazione alla concentrazione di clorofilla (paragrafo 3.3.2), ed è particolarmente evidente, ad esempio, durante il periodo trascorso da Liberty a Monfalcone (Fig. 3.28) ed in Union nel periodo di tempo trascorso in prossimità di Kelibia. Tuttavia, come evidente ad esempio nel tratto 6 della rotta di Aphrodite (Fig. 3.30) o nel tratto 5 di Liberty (Fig. 3.28), le tartarughe non si sono trattenute a lungo ed unicamente in queste aree potenzialmente ricche di cibo, ma, per motivi non noti, li hanno abbandonati rispettivamente dopo 15 e 82 giorni, benché fossero caratterizzati da concentrazioni elevate di clorofilla.

Un'altra relazione interessante rilevata nello studio è quella tra la velocità di spostamento e la durata delle immersioni delle tartarughe. L'analisi degli andamenti medi per tratto (da Fig. 3.42 a Fig. 3.45) ha evidenziato che quando l'animale si muove con velocità elevate, la durata delle immersioni effettuate tende a diminuire; e viceversa. E' plausibile ipotizzare che durante gli spostamenti, caratterizzati da elevate velocità, la tartaruga torni frequentemente in superficie a respirare, per compensare il consumo metabolico di ossigeno legato alla sostenuta attività di nuoto (Hays et al. 1999). In effetti il pattern di immersione più frequentemente rilevato nelle tartarughe seguite, costituito da immersioni relativamente brevi (in genere < 5 min) e numerose (Fig. 3.42 a Fig. 3.45), è indicativo di un tale moto attivo, necessitante frequenti emersioni. In effetti, si ritiene che molti dei movimenti compiuti delle tartarughe giovani ed adulte avvengano in maniera attiva, e siano quindi essenzialmente dovuti all'azione di nuoto degli animali, cui poi si aggiunge l'azione di deriva delle correnti, che contribuisce a definire la velocità totale di spostamento rilevata con le localizzazioni satellitari (Girard et al. 2006; Luschi et al. 2007). Nel presente studio, non abbiamo valutato le correnti presenti nelle aree frequentate dalle tartarughe, ma numerosi studi hanno evidenziato la presenza di un'alta variabilità delle correnti all'interno di questa zona (Poulain and Zambianchi, 2007). Presumibilmente, una tartaruga tende a muoversi con velocità elevate quando attraversa un'area che non ritiene particolarmente attrattiva per foraggiare,

mostrando quindi un comportamento che potrebbe essere definito di tipo esplorativo. Un tale atteggiamento di esplorazione, è presumibilmente quello osservato durante gli spostamenti di queste tartarughe (ad esempio in Union Fig. 3.41) in mari profondi, come mostrato dalla proporzionalità inversa evidenziata tra la profondità del mare in una determinata zona e la velocità di nuoto mantenuta in questa zona (Tab. 3.5 a Tab. 3.8).

A questo proposito, è da rilevare come il profilo batimetrico dei fondali delle aree attraversate dalle tartarughe di Lampedusa è risultato spesso differente da quello che sarebbe da attendersi per animali giovani nella fase antecedente il raggiungimento della maturità sessuale, cioè nel cosiddetto “stadio giovanile neritico” (Bolten 2003). Queste tartarughe hanno infatti frequentato spesso acque più profonde dei 200 m considerati limite dell’ambiente neritico tanto che il tempo trascorso in ambiente oceanico (cioè su fondali superiori ai 200 m) è stato maggiore rispetto a quello trascorso in ambiente neritico. Tuttavia, Bolten stesso (2003) ha sottolineato l’incongruenza spesso presente in letteratura sull’utilizzo della terminologia oceanografica nella descrizione delle differenti fasi vitali delle tartarughe marine, ed inoltre è da sottolineare che, dal punto di vista biologico, la separazione tra le formazioni litorali e quelle profonde non può essere assegnata in modo inconfutabile all’isobata dei 200 m. Tale profondità è infatti superiore sia alla cosiddetta profondità di compensazione (livello al quale la produzione di ossigeno dovuta alla fotosintesi è uguale alla quantità di ossigeno consumato dalla respirazione), che alla profondità in cui si assiste ad un cambiamento nel profilo geomorfologico del fondale (dato che la variazione di pendio che separa la piattaforma dalla scarpata continentale si ha in genere intorno ai 120m di profondità; Pérès 1981). Attualmente si considera in generale che il limite tra la zona fotica e quella afotica oscilli tra i 100 e 200 metri, e che esista una zona disfotica, situata tra questo limite ed i 1000 m, in cui la luce può essere sufficiente per la visione ma non per la fotosintesi (Pérès 1981). Tuttavia, a prescindere della collocazione precisa di tale limite, appare evidente che le tartarughe esaminate in questo lavoro abbiano preferito l’ambiente oceanico e quello neritico. Sarebbe pertanto interessante studiare, con l’ausilio di trasmettenti equipaggiate con profondimetri, le profondità effettivamente raggiunte da questi animali, al fine di

delinearne in modo chiaro la loro distribuzione nella colonna d'acqua e per stimare su quali tipi di prede esse concentrino la loro attività di foraggiamento.

In conclusione, il presente studio ha mostrato come l'impiego di tecniche di telemetria satellitare rappresenti un ottimo metodo di indagine utile per ottenere un quadro dettagliato e completo del comportamento di tartarughe giovani nei loro movimenti di foraggiamento in mare aperto. L'analisi dell'andamento delle rotte in relazione ai dati oceanografici e biologici ottenuti tramite i sensori ambientali installati sulle trasmissioni e le tecniche di remote sensing, ha mostrato come le variabili ambientali siano degli elementi chiave nel delineare ed interpretare il pattern comportamentale complessivo mostrato dalle tartarughe.

Tuttavia, sebbene la tecnologia satellitare in tempi recenti abbia effettuato molti progressi, fornendo numerose informazioni circa l'utilizzo degli habitat e le rotte migratorie di questi animali (Polovina et al. 2000; 2004; Luschi et al. 2003), ci sono ancora due principali limiti che ci impediscono di acquisire una conoscenza completa ed esaustiva sui pattern di spostamento, le transizioni ecologiche ed il comportamento generale. Il primo limite riguarda il tempo in cui la trasmittente in è grado di trasmettere dati e rimane effettivamente incollata al carapace, soprattutto negli individui in via di sviluppo. Per esempio, in un campione di 42 tartarughe comuni e tartarughe verdi tracciate con telemetria satellitare, la durata media delle trasmissioni è stata di 117 giorni (Hays et al. 2003), sebbene singoli casi di tracking prolungati sono possibili, così come nel caso di Liberty, la quale ha trasmesso per 314 giorni. Un altro limite, tutt'altro che trascurabile, è rappresentato dall'elevato costo delle trasmissioni, che riduce sensibilmente il numero di tartarughe che vengono utilizzate per questo tipo di ricerca scientifica.

In ogni caso, lo sforzo adoperato in questa direzione per ricostruire le rotte seguite dalle tartarughe, anche durante gli stadi giovanili, sicuramente rappresenta un mezzo importante per poter pianificare adeguate strategie di conservazione, sebbene l'elevato valore economico delle attività coinvolte nell'alterazione della sopravvivenza di questi animali (es. l'industria della pesca), rappresenti un rilevante ostacolo nell'attuazione di tali strategie.

RINGRAZIAMENTI

Il mio primo e sincero ringraziamento va al Dott. Luschi che mi ha seguita con estrema competenza, trasmettendomi la curiosità e l'entusiasmo necessario per lo studio di questi splendidi e misteriosi animali.

Un grazie di cuore va anche alla Dott.ssa Resi Mencacci, sempre disponibile a contrastare in modo amichevole e premuroso, il mio instancabile pessimismo. Grazie per tutte le risate e la pazienza avuta nei miei confronti.

Un ringraziamento al Dott. Marco Affronte e al Dott. Dino Scaravelli della Fondazione Cetacea di Riccione, alla Dott.ssa Daniela Freggi e al Dott. Paolo Casale del WWF di Lampedusa (Centro Recupero Tartarughe Marine), nonché alla Dott.ssa Paola Meschini dell'Acquario Comunale D.Cestoni di Livorno.

Di rito, ma necessari, i ringraziamenti ai miei genitori. Se sono arrivata oggi qui, è perché due anni fa mi avete dato il permesso di lasciare l'università. Sono testarda, e voi lo sapete bene.

A Simone, il "mio uomo", anche se non te lo dico mai, semplicemente, ti voglio bene.

Un enorme grazie a tutti i miei amici del circolo, grazie perché da voi non ho avuto solo amicizia, ma l'opportunità di crescere, imparare e capire le varie sfaccettature di questa stana società. Sono orgogliosa e contenta di essere vostra amica.

E come non ringraziare Margherita, mia mentore e sostenitrice, che mi ha supportata e "sopportata" in questi due anni. I nostri esami preparati via messenger passeranno alla storia!

Grazie anche al "gruppo di sostegno" del Pacinotti, agli amici delle pause "cicchini" e le pause "al gusto di caffè" (perché il caffè, dopotutto, al Pacinotti non possiamo permettercelo!). Perché il nostro motto sarà sempre : « *SCUSA, MA.....TI VA LA RETE ?* ».

Grazie infine a tutti gli amici di facoltà e non, quelli che mi hanno accompagnato in questi anni, che non nomino singolarmente perché ne dimenticherei sicuramente qualcuno, ma hanno contribuito a farmi arrivare oggi fino a qui.

5. BIBLIOGRAFIA

AIDLEY D.J. (1981). Animal migration. Cambridge Univ. Press, New York.

ARGANO R., BASSO R., COCCO M., GEROSA G. (1992). New data on loggerhead (*Caretta caretta*) movements within Mediterranean. Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova 56-57, 134-164.

ARGOS, Inc. (1992). User Manual. Service Argos, Toulouse, France.

AVERY T.E., BERLIN G.L. (1992). Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation, 2nd ed. Macmillan Publishing Co., New York.

BALAZS G.H., CRAIG P., WINTON B.R., MIYA R.K. (1994). Satellite telemetry of green turtles nesting at French Frigate Shoals, Hawaii, and Rose Atoll, American Samoa. In: K.A. Bjorndal, A.B. Bolten, D.A. Johnson and P.J. Eliazar (eds) *Proceedings of the 14th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-351.

BALAZS G.H., MIYA R.K., BEAVERS S.C. (1996). Procedures to attach a satellite transmitter to the carapace of an adult green turtle, *Chelonia mydas*. In: J.A. Keinath, D.E. Barnard, J.A. Musick and B.A. Bell (eds) *Proceedings of the 15th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-387.

BALLETTO E., GIACOMA C., PIOVANO S., MARI F., DELL'ANNA L. (2003). Piano d'azione per la conservazione della tartaruga marina *Caretta caretta* nelle isole Pelagie, 60 pp. Edi.tur, Roma.

- BEAVERS S.C., CASSANO E.R. (1996).** Movements and dive behaviour of a male sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) in the eastern tropical Pacific. *J. Herpetol.* 30: 97-104.
- BENTIVEGNA F. (2002).** Intra-Mediterranean migrations of loggerhead sea turtles monitored by satellite telemetry. *Mar. Biol.* 141: 795-800.
- BENTIVEGNA F., TREGLIA G., HOCHSCHEID S. (2005)** The first report of a loggerhead turtle *Caretta caretta* nest on the central Tyrrhenian coast (western Mediterranean). *Jour. Mar. Bio. Ass.* 2, Biodiversity Records, (disponibile on line: www.mba.ac.uk/jmba/pdf/5143.pdf).
- BJORNDAL K. A. (1997).** Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In : P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles*, pp. 199-231. CRC Press, Boca Raton.
- BOLTEN A.B. (2003).** Active swimmers – passive drifters: the oceanic juvenile stage of loggerheads in the Atlantic System. In: A.B. Bolten and B.E. Witherington (eds) *Loggerhead sea turtle*, pp. 63-78. Smithsonian Institution, Washington.
- BOWEN B.W., AVISE J.C., RICHARDSON J.I., MEYLAN A.B., MARGARITOULIS D., HOPKINS-MURPHY S.R. (1993).** Population structure of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the northwestern Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *Conserv. Biol.* 7: 834-844.
- BOWEN B.W., KARL S.A. (1997).** Population genetics, phylogeography, and molecular evolution. In: P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles*, pp. 29-50. CRC Press, Boca Raton.

- BRANKART J.M., BRASSEUR P. (1998).** The general circulation in the Mediterranean Sea: a climatologically approach. *J. Mar. Syst.* 18: 41-70.
- CARR A. (1987).** New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. *Conserv. Biol.* 1: 103-121.
- CARR A., CARR M.H., MEYLAN A.B. (1978).** The ecology and migrations of sea turtles. 7. The West Caribbean green turtle colonies. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* 162: 1-46.
- CARRERAS C., PONT S., MAFFUCCI F., PASCUAL M., BARCELÒ A., BENTIVEGNA F., CARDONA L., ALEGRE F., SANFELIX M., FERNANDEZ G., AGUILAR A. (2006).** Genetic structuring of immature loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea reflects water circulation patterns. *Mar. Biol.* 149: 1269-1279.
- CASALE P., LAURENT L., DE METRIO G. (2004).** Incidental capture of marine turtles by the Italian trawl fishery in the north Adriatic Sea. *Biol. Conserv.* 119: 287-295.
- CHENG I.J. (2000).** Post- nesting migrations of green turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Mar. Biol.* 137: 747-754.
- COGNETTI G., SARA' M., MAGAZZU' G. (2002).** *Biologia marina.* Calderini, Bologna.
- COOKE S.J., HINCH S.G., WIKELSKI M., ANDREWS R.D., KUCHEL L.J., WOLCOTT T.G., BUTLER P.J. (2004).** Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends Ecol. Evol.* 19: 334-343

- COYNE M.S., GODLEY B.J. (2005).** Satellite Tracking and Analysis Tool (STAT): an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 301: 1-7
- DINGLE H. (1996).** Migration. Oxford University Press, New York.
- FRENCH J. (1994).** Wildlife telemetry by satellite. *Endeavour* 18: 32-37.
- GITSCHLAG G. R. (1996).** Migration and diving behaviour of Kemp's ridley (German) sea turtle along the U.S. southeastern Atlantic coast. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 205: 115-135.
- GLASS M. L., WOOD S. C. (1983).** Gas exchange and control of breathing in Reptiles. *Physiol. Rev.* 63: 232.
- GODLEY B.J., BRODERICK A.C., FRAUENSTEIN R., GLEN F., HAYS G.C. (2002).** Reproductive seasonality and sexual dimorphism in green turtles. *Mar. Ecol. Prog. Se.* 226: 125-133.
- GODLEY B.J., BRODERICK A.C., GLEN F., HAYS G.C. (2003).** Post-nesting movements and submergence patterns of loggerhead marine turtles in the Mediterranean assessed by satellite tracking. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 287: 119-134.
- HAYS G.C., AKESSON S., BRODERICK A.C., GLEN F., GODLEY B.J., LUSCHI P., MARTIN C., METCALFE J.D., PAPI F. (2001a).** The diving behaviour of green turtles undertaking oceanic migration to and from Ascension Island: dive durations, dive profiles and depth distribution. *J. Exp. Biol.* 204: 4093-4098.

HAYS G.C., ÅKESSON S., BRODERICK A.C., GLEN F., GODLEY B.J., PAPI F., LUSCHI P. (2003). Island-finding ability of marine turtles. Proc. R. Soc. Lond. B 270 Suppl. 1, 5-7.

HAYS G.C., DRAY M., QUAIFE T., SMYTH T.J., MIRONNET N.C., LUSCHI P., PAPI F., BARNSELY M.J. (2001b). Movements of migrating green turtles in relation to AVHRR derived sea surface temperature. Intern. J. Rem. Sens. 22: 1403-1411

HENDRICKSON J.R. (1980). The ecological strategies of sea turtles. Amer. Zool. 20: 597-608.

HOCHSCHEID S., BENTIVEGNA F., BRADAI M.N., HAYS G.C. (2007). Overwintering behaviour in sea turtles: dormancy is optional. Mar. Ecol. Prog. Ser. 340: 287-298.

HOCHSCHEID S., BENTIVEGNA F., HAYS C. (2005). First records of dive durations for hibernating sea turtle. Biol. Lett. 1: 82-86.

HOCHSCHEID S., BENTIVEGNA F., SPEAKMAN J.R. (2004). Long-term cold acclimation leads to high Q10 effects on oxygen consumption of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*. Physiol. Biochem. Zool. 77, 209-222.

HUGHES G.R. (1989). Sea turtles. In: R. Crawford and A. Payne (eds) Oceans of Life off Southern Africa, pp. 230-243. Vlaeberg, Cape Town.

HUGHES G.R., LUSCHI P., MENCACCI R., PAPI F. (1998). The 7000-km oceanic journey of a leatherback turtle tracked by satellite. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 229: 209-217.

- HULL C.L., HINDELL M.A., MICHEAL K. (1997).** Foraging zones of royal penguins during the breeding season, and their association with oceanographic features. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 153: 217-228.
- JOUVENTIN P., WEIMERSKIRCH H. (1990).** Satellite tracking of wandering albatrosses. *Nature* 343: 746-748
- KAMEZAKI N., MATZUI M. (1997).** Allometry in the loggerhead turtle, *Caretta caretta*. *Chel. Conserv. Biol.* 2: 421-425.
- KLINGER R.C., MUSICK J.A. (1995).** Age and growth of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Chesapeake Bay. *Copeia* 1995: 204.
- LAURENT L., CASALE P., BRADAI M.N., GODLEY B.J., GEROSA G., BRODERICK A.C., SCHROTH W., SCHIERWATER B., LEVY A.M., FREGGI D., ABD EL-MAWLA E.M., HADOUD D., GOMATI H.E., DOMINGO M., HADJICHRISTOPHOROU M., KORNARAKY L., DEMIRAYAK F., GAUTIER C. (1998).** Molecular resolution of marine turtle stock composition in fishery bycatch: a case study in the Mediterranean. *Mol. Ecol.* 7: 1529-1542.
- LAURENT L., LESCURE J. (1994).** L'hivernage des tortues caouannes *Caretta caretta* (L.) dans le sud Tunisien. *Rev. Ecol.-Terre Vie* 49: 63-85.
- LAZAR B., BORBOROGLU P.G., TVRTKOVIĆ N., ZIZA V. (2003).** Temporal and spatial distribution of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in the eastern Adriatic Sea: a seasonal migration pathway? In: Seminoff JA (ed) *Proceedings of the 22nd Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-503.

- LAZAR B., MARGARITOULIS D., TVRTKOVIC N. (2004).** Tag recoveries of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the eastern Adriatic Sea. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 84: 475-780.
- LIEW H.C., CHAN E.H., LUSCHI P., PAPI F. (1995).** Satellite tracking data on Malaysian Green Turtle migration. *Rend. Fis. Acc. Lincei* 6: 239-246.
- LOHMANN K.J., WITHERINGTON B.E., LOHMANN C.M.F., SALOMON M. (2003).** Orientation, navigation, and natal beach homing in sea turtles. In: P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles*, pp. 107-135. CRC Press, Boca Raton.
- LUSCHI P. (2003).** Migration and conservation: the case of sea turtles. In: M. Festa-Bianchet and M. Apollonio (eds) *Animal behavior and wildlife conservation*, pp. 49-61. Island Press, Washington.
- LUSCHI P., HAYS G.C., DEL SEPPIA C., MARSH R., PAPI F. (1998).** The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 265: 2279–2284.
- LUSCHI P., HAYS G.C., PAPI F. (2003).** A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. *Oikos* 103: 293-302.
- LUSCHI P., PAPI F., LIEW H.C., CHAN E.H., BONADONNA F. (1996).** Long-distance migration and homing after displacement in the green turtle (*Chelonia mydas*): a satellite tracking study. *J. Comp. Physiol.* 178A: 447-452.

LUTCAVAGE M.E., LUTZ P.L. (1997). Diving physiology. In : P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles*, pp. 277-296. CRC Press, Boca Raton.

McCONNEL B. J., FEDAK M. A. (1996). Movements of southern elephant seals. *Can. J. Zool.* 74:1485-1496.

MAFFUCCI F., KOOISTRA W.H.C.F., BENTIVEGNA F. (2006). Natal origin of loggerhead turtles, *Caretta caretta*, in the neritic habitat off the Italian coasts, Central Mediterranean. *Biol. Cons.* 127: 183-189.

MARGARITOULIS D., ARGANO R., BARAN I., BENTIVEGNA F., BRADAI M.N., CAMIÑAS J.A., CASALE P., DE METRIO G., DEMETROPOULOS A., GEROSA G., GODLEY B.J., HADDOUD D.A., HOUGHTON J., LAURENT L., LAZAR B. (2003). Loggerhead turtles in the Mediterranean Sea: present knowledge and conservation perspectives. In: A. Bolten and B. Witherington (eds) *Loggerhead Sea Turtles*, pp. 175-198. Smithsonian Institution, Washington.

MARGARITOULIS D., REES A.F. (2003). Loggerhead nesting effort and conservation initiatives at the monitored beaches of Greece during 2002. *Mar. Turt. Newslett.* 102: 11-13.

MINGOZZI T., MASCIARI G., PAOLILLO G., PISANI B., RUSSO M., MASSOLO A. (2006). Discovery of a regular nesting area of loggerhead turtle *Caretta caretta* in southern Italy: a new perspective for national conservation. *Biodiv. Conserv.* 16: 3519-3541.

MUSICK J.A., BERNARD D., KEINATH J.A. (1992). Prediction of trawl fishery impacts on sea turtle: a model. In: M. Salmon and J. Wyneken (eds)

Proceedings of the 11th Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-302.

MUSICK J.A., LIMPUS C.J. (1997). Habitat utilization and migration in juvenile sea turtle. In: P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles*, pp. 137-164. CRC Press, Boca Raton.

NICHOLS W.J., RESENDIZ A., SEMINOFF J.A., RESENDIZ B. (2000). Transpacific migration of a loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bull. Mar. Sci.* 67: 937-947

PAPI F. (1999). Navigazione animale. In: *Frontiere della vita*, Vol IV. Istituto della Enciclopedia Italiana (ed.), Roma.

PAPI F., LUSCHI P., CROSIO E., HUGHES G.R. (1997). Satellite tracking experiments on the navigational ability and migratory behaviour of the loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Mar. Biol.* 129: 215-220.

PÉRÈS J.M. (1982). Zonations and organismic assemblages. In: O. Kinne (ed.) *Marine Ecology*, Vol. V, Ocean Management, part 1, pp. 9-576. Wiley, Chichester.

PLOTKIN P.T, BAYLES R. A. ROSTAL D. C., OWENS D. W. (1995) Independent versus socially facilitated oceanic migrations of the olive ridley *Lepidochelys olivacea*. *Mar. Biol.* 122:137-143.

POLOVINA J.J., KOBAYASHI D.R., PARKER D.M., SEKI M.P., BALAZS G.H. (2000). Turtles on the edge: movement of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) along oceanic fronts, spanning longline fishing grounds in the central North Pacific, 1997-1998. *Fish. Oceanogr.* 9: 7 182.

- POULAIN P.-M., ZAMBIANCHI E. (2007).** Surface circulation in the central Mediterranean Sea as deduced from Lagrangian drifters in the 1990s. *Cont. Shelf Res.* 27: 981-1001.
- PRITCHARD P. (1997).** Evolution, phylogeny, and current status. In P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The Biology of Sea Turtles*, pp. 1-24. CRC Press, Boca Raton.
- PRITCHARD P., TREBBAU P. (1984).** The turtles of Venezuela. *Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Contribution to Herpetology Ser. no. 2*, 1-403.
- RACHEV N., PIACSEK S., DIETRICH D., PURINI R. (2000).** Numerical study on the response of the Adriatic Sea to the bora forcing. EGS XXV General Assembly, Nice, France, Apr. 2000.
- RENAUD M. L., CARPENTER J. A. (1994).** Movements and submergence pattern of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the Gulf of Mexico determined through satellite telemetry. *Bull. Mar. Sci.* 55: 1-15.
- RICHARDSON W.J. (1990).** Wind and orientation of migrating birds: a review. In P. Berthold (ed.) *Orientation in birds*, pp.226-249. Birkahuser Verlag, Basel.
- SABINS F.F. (1997).** Remote sensing: principals and interpretation. 3rd (ed) W.H. Freeman and Company, New York.
- SEYMOUR R. S. (1982).** Physiological adaptations to aquatic life. In C. Gans (ed) *Biology of the reptilia*, Vol 13. Academic Press, New York.

- STONEBURNER D.L. (1982).** Satellite telemetry of loggerhead sea turtle movement in the Georgia Bight. *Copeia* 1982: 400-408.
- TAILLADE M. (1992).** Animal tracking by satellite. In I.G. Priede and S.M. Swift (eds) *Wildlife Telemetry*, pp. 149-160. London, Ellis Horwood.
- TAILLADE M. (1998).** Argos second and third generations, Argos system evolution for animal tracking. *Proceedings of the 12th Biennial World Marine Mammal Science Conference*, Monaco, p. 132. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, Kansas.
- WALKER T.A., PARMENTER C.J. (1990)** Absence of a pelagic phase in the life cycle of the flatback turtle, *Natator depressa* Garman. *J. Biogeogr.* 17: 275-278
- WATSON K.P., GRANGER R.A. (1998).** Hydrodynamic effect of a satellite transmitter on a juvenile green turtle (*Chelonia mydas*). *J. Exp. Biol.* 201: 2497-2505.
- WERNER T.A., GILLIAM J.F. (1984).** The ontogenetic niche and species interaction in size-structured populations. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 393 – 425.
- WYNEKEN J. (1997).** Sea turtle locomotion: mechanism, behaviour, and energetics. In P.L. Lutz and J.A. Musick (eds) *The biology of sea turtles* (eds), pp.165-194. CRC Press, Boca Raton.
- ZAVATARELLI M., PINARDI N. (2003).** The Adriatic Sea modelling system: a nested approach. *Ann. Geophys.*