

ROSSELLA BARONE

ASPARAGOPSIS TAXIFORMIS (DELILE) TREVISAN (*Rhodophyta*)
E *TRICHODESMIUM ERYTHRAEUM* EHRENBERG (*Cyanobacteria*),
DUE TAXA ALGALI TROPICALI
IDENTIFICATI NELLE ACQUE COSTIERE DELLA SICILIA

RIASSUNTO

Nelle ultime decadi numerose specie tropicali sono state segnalate nelle acque del Mediterraneo, probabilmente in relazione alla tropicalizzazione del bacino imputabile, essenzialmente, al riscaldamento globale. In questo ambito si riporta l'indicativa presenza, lungo le coste siciliane, di due specie algali marine di affinità tropicale che mostrano una rilevante importanza biogeochimica. *Asparagopsis taxiformis* (Bonnemaisoniales), macroalga rossa bentonica, è comune nei mari tropicali e subtropicali del globo. Lo stadio gametofitico di questa specie, segnalata per la prima volta in Italia lungo le coste della Sicilia occidentale nel maggio 2000, manifesta un comportamento stagionale invasivo in tre siti: porto di Trapani, Isole Egadi ed isola di Pantelleria. *Asparagopsis taxiformis* è nota come prolifica fonte di alocarburi volatili, in particolare bromocarburati. *Trichodesmium erythraeum* (Oscillatoriales), cianobatterio coloniale planctonico, è comune in tutti gli oceani oligotrofici tropicali e subtropicali del mondo. La specie, diazotrofica, gioca un ruolo significativo nel ciclo globale dell'azoto. L'organismo è stato identificato come responsabile di un esteso "bloom" che ha interessato nell'ottobre 1990 la costa occidentale della Sicilia e che è qui segnalato per la prima volta.

SUMMARY

Asparagopsis taxiformis (Delile) Trevisan (*Rhodophyta*) e *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg (*Cyanobacteria*), two tropical algal taxa identified along Sicilian coasts. During last decades many tropical species have been found in Mediterranean Sea, probably in relation to its tropicalisation, mainly due to recent tendency to global warming. It is here recorded from Sicily the presence of two marine algal species of tropical affinity, showing a remarkable biogeochemical importance. The first one is the benthic red alga *Asparagopsis taxiformis* (Bonnemaisoniales), widespread in the tropics and the subtropics around the globe. The gametophytes of this species were recorded in May 2000 – for the first time along the Italian coasts – showing a seasonal invasive behaviour in three sampling

sites of western Sicily: harbour of Trapani, Egadi islands and Pantelleria island. *Asparagopsis taxiformis* is known as a prolific source of volatile halocarbons, particularly bromocarbons. The colonial planktic cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* (Oscillatoriales), occurring throughout the oligotrophic tropical and subtropical oceans, was detected in October 1990, during an extended bloom along western coasts, and is recorded here for the first time in Sicily. This diazotrophic species is known to play a significant role in the global nitrogen cycle.

INTRODUZIONE

Gli organismi non nativi, introdotti in un peculiare ambiente, sono noti come organismi esotici o alieni. Il loro impatto sugli ecosistemi locali può essere negativo perché possono predare sulle specie native o competere con esse per le risorse. Alcuni organismi esotici sono, inoltre, in grado di interferire con le specie native e gli ibridi risultanti possono differire notevolmente dalle specie originali. Gli organismi alieni sono considerati invasori quando si rivelano ecologicamente e/o economicamente dannosi. Negli ecosistemi ospiti questo tipo di specie agisce come una nuova “specie chiave”: ha un forte impatto sulle specie chiave native e può addirittura arrivare a sostituirle. Le specie aliene, pertanto, rappresentano una delle principali minacce alla biodiversità.

Nel Mediterraneo, definito recentemente “mare sotto assedio” (GALIL *et al.*, 2002), si sono manifestate nelle ultime decadi numerose e frequenti bioinvasioni. È possibile affermare che attualmente è in corso un’invasione biologica di rilevanti dimensioni e che sussistono buone probabilità che possa continuare in futuro. Fra le ragioni intrinseche di questa invasione è da rilevare la recente tendenza al riscaldamento globale (WALTHER *et al.*, 2002) che ha determinato una tropicalizzazione del Mediterraneo e, pertanto, un’elevata probabilità di invasioni di specie di affinità tropicale (BOERO, 2002).

Gli individui che raggiungono il Mediterraneo sono il risultato di eventi episodici dovuti all’ingresso di un esiguo campione delle popolazioni originali. Le popolazioni non native potrebbero non contenere l’intera diversità genetica della specie ed essere, pertanto, destinate all’estinzione. Peraltro, condizioni ambientali alterate potrebbero favorire lo sviluppo di nuove popolazioni soggette a speciazione. La regressione delle specie adattate a climi più freddi, probabilmente, sta rendendo libero uno spazio ecologico che potrebbe essere occupato sia dall’espansione del range geografico o stagionale di specie di acque calde già insediate, sia dall’insediamento di nuove specie introdotte da regioni tropicali. Si può, pertanto, ipotizzare che le invasioni di specie tropicali siano positivamente influenzate dalla regressione di specie di affinità boreale (BOERO, 2002).

Nell'ambito delle invasioni algali occorre distinguere fra microinvasioni (invasioni di microalghe) e macroinvasioni (invasioni di macroalghe). Per quanto concerne le microinvasioni, il numero degli organismi fitoplanctonici considerati introdotti o invasivi è notevolmente inferiore rispetto a quello delle macroalghe. In particolare, nelle acque costiere europee sono stati ritenuti invasivi solo sette taxa (WYATT *et al.*, 2002). Il motivo principale è probabilmente rappresentato da una più difficile risoluzione tassonomica delle microalghe. Specie difficili da identificare e carenza di esperti tassonomi rendono verosimilmente più elevato il numero degli organismi definiti cosmopoliti. Presumibilmente il numero di specie fitoplanctoniche introdotte è molto più grande di quanto sia attualmente noto.

Le conoscenze attuali sulle macrofite algali introdotte ed invasive sono certamente più ampie. Recentemente sono stati riportati 90 taxa possibilmente introdotti nel Mediterraneo (BOUDOURESQUE *et al.*, 2002) e otto taxa probabilmente invasivi (BOUDOURESQUE & VERLAQUE, 2002). Il numero di taxa introdotti da regioni tropicali sembra essere in costante incremento dal 1960. Il fenomeno è stato messo in relazione con il progressivo aumento delle temperature; in particolare, è stato stimato un incremento delle temperature superficiali di circa 1.1 °C (BOUDOURESQUE *et al.*, 2002). Fra i macroinvasori algali tropicali accertati i più noti e significativi sono indubbiamente le alghe verdi sifonali *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (MEINESZ *et al.*, 2001) e *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* (J. Agardh) Børgesen (PANAYOTIDIS & ŽULJEVIĆ, 2001).

Questo studio ha lo scopo principale di segnalare la presenza ed il comportamento invasivo di due specie algali marine di affinità tropicale lungo le coste siciliane. In particolare, sono evidenziati il comportamento invasivo stagionale della macroalga rossa bentonica *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan e l'episodico bloom del cianobatterio *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg, microalga planctonica.

ASPARAGOPSIS TAXIFORMIS (DELILE) TREVISAN

Asparagopsis taxiformis è una macroalga tossica virtualmente cosmopolita in acque calde temperate, subtropicali e tropicali. I talli si rinvencono comunemente in ambienti sublitorali poco profondi.

La specie manifesta un ciclo trigenetico eteromorfo caratterizzato dall'alternanza di un macrotallo gametofitico (Fig. 1) e di un microtallo tetrasporofitico (Fig. 2), classificato originariamente come *Falkenbergia hillebrandii* (Ardissoni) Falkenberg. I gametofiti, ad organizzazione morfologica pseudoparenchimatosa uniaassiale ed a crescita apicale, sono eretti e caratterizzati da un lungo stelo cilindrico densamente ramificato nella metà superio-



Fig. 1 — Macro-tallos (gametofito) di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan. L'altezza massima del tallo è 20 cm.

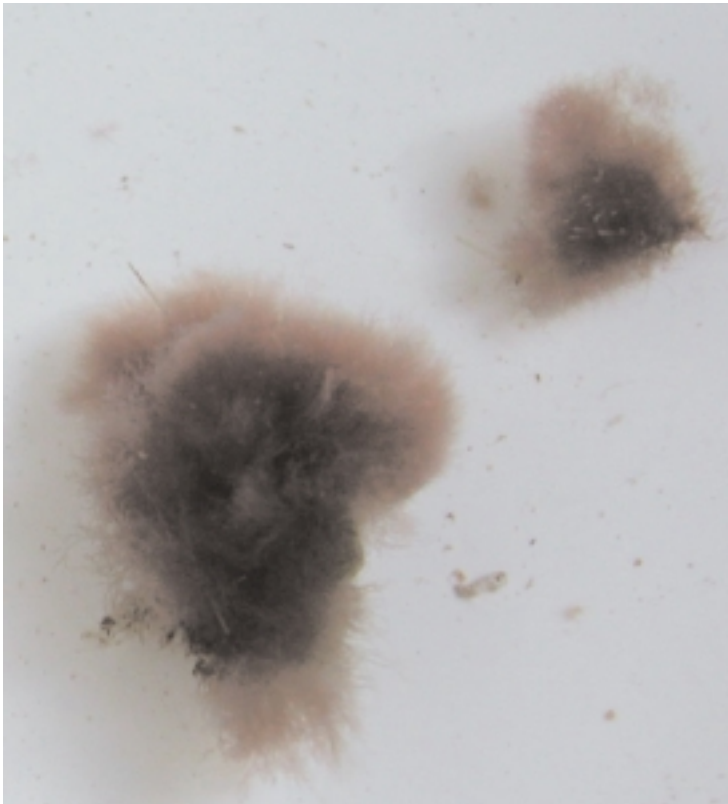


Fig. 2 — Micro-tallos (tetrasporofiti) di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan. Il diametro del tallo più grande è 2 cm.



re secondo un modello piramidale. Questo peculiare tipo di ramificazione è responsabile del nome comune dell'alga: "asparago marino". Il tallo, molle e flaccido, può raggiungere un'altezza di 30 cm e manifestare un colore variabile dal rosso, al rosa, fino al verde od al giallastro. I rami principali, disposti ad elica attorno all'asse, manifestano un aspetto piumoso (Fig. 3) dovuto alla densa copertura di piccoli rami a crescita determinata. Lungo l'asse cilindrico e sui rami possono essere presenti

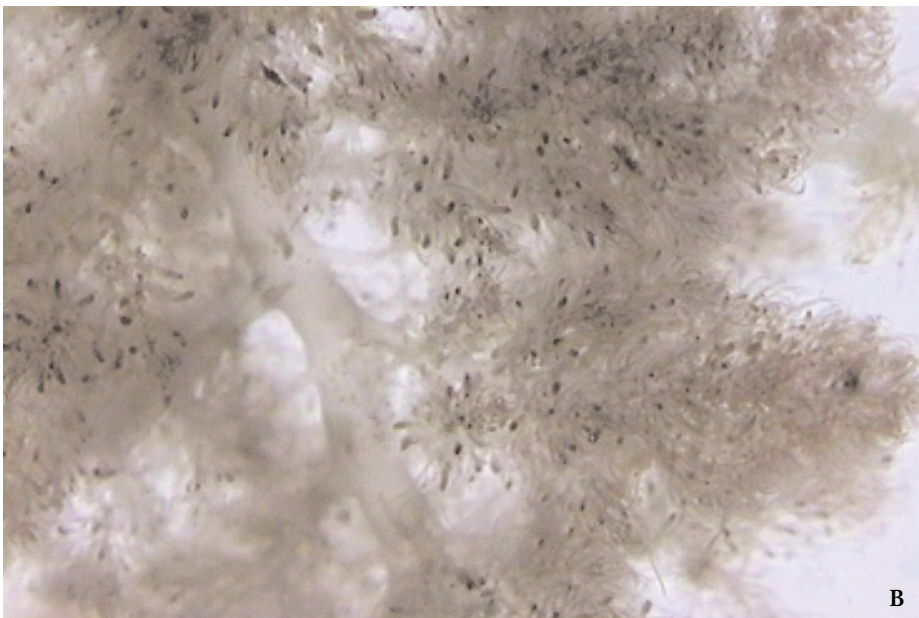


Fig. 3 — Gametofito femminile con cistocarpi (A) e (B) gametofito maschile (6x) con rami spermatangiali di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan.

corti ramuli spinosi, spesso uncinati e talvolta falciformi. La struttura anatomica manifesta un modello polisifonale con tre cellule pericentrali disposte elicoidalmente attorno ad ogni cellula assiale, ricoperte nelle parti adulte da 3-4 strati di cellule corticali. Nella maggior parte delle cellule periferiche si osservano piccole cellule ghiandolari originatesi sul lato interno delle cellule pericentrali (Fig. 4). Nelle parti adulte l'asse centrale mostra peculiari allargamenti ad imbuto alle estremità delle cellule (Fig. 5). I cistocarpi (Fig. 6), sferici e pedunculati, raggiungono talvolta dimensioni di oltre 1 mm. I rami spermatangiali clavati (Fig. 7) manifestano sori larghi 180-280 μm e lunghi 350-650 μm . I talli gametofitici crescono su substrati rocciosi o epifiticamente, soprattutto su alghe rosse coralline (Fig. 8). La parte eretta si origina da rami stoloniferi aggrovigliati, fissati al substrato mediante corti rizoidi a forma di gancio che producono cuscinetti di mucillagine adesiva (Fig. 9).

I talli tetrasporofitici, filamentosi ramificati (Fig. 10), sono raggruppati in ciuffi sferici piumosi alti 1-3 cm, epifiti (Fig. 11) o epiliti. Anatomicamente sono costituiti da filamenti polisifonali, larghi 40-50 μm , caratterizzati da 3 cellule pericentrali disposte attorno ad un asse centrale. In numerose cellule si evidenziano cellule ghiandolari associate alle cellule pericentrali (Fig. 12).

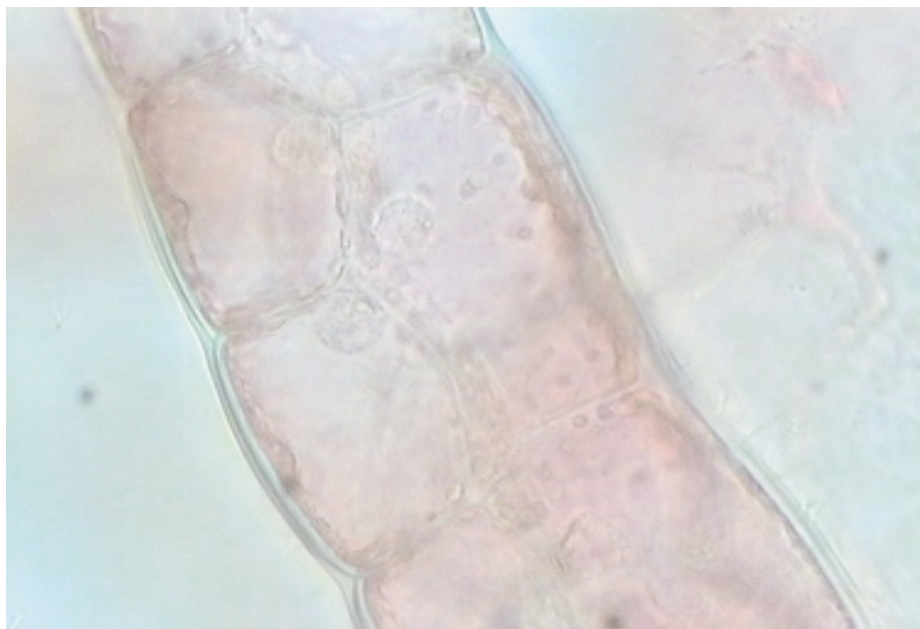


Fig. 4 — Cellule ghiandolari in un ramo gametofitico di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan visibili accanto all'asse centrale (400 \times).

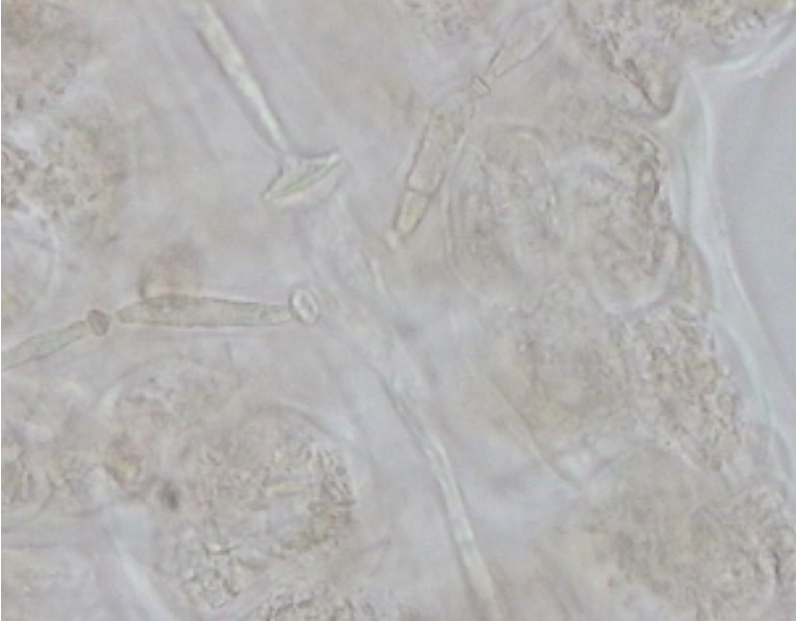


Fig. 5 — Asse gametofitico di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (400 ×).

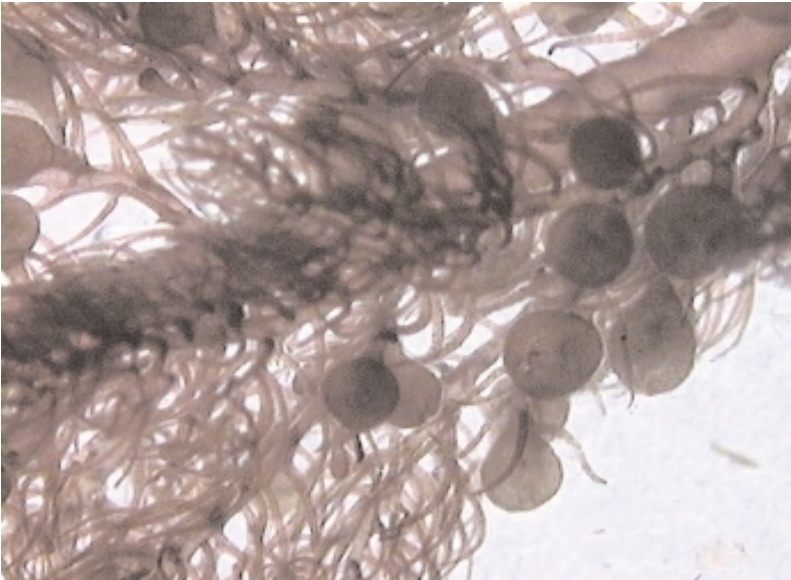


Fig. 6 — Cistocarpi pedunculati del gametofito femminile di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (15 ×).



Fig. 7 — Ramo spermatangiale del gametofito maschile di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (100 ×).

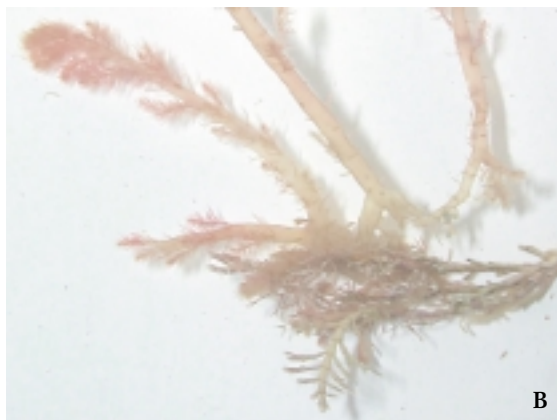


Fig. 8 — Parte basale (A) e organo di attacco stolonifero (B) del gametofito di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan epifita su *Corallina* sp. (Corallinales, Rhodophyta).

Fig. 9 — Cuscinetti mucosi adesivi prodotti dai ramuli spinosi dell'organo di attacco di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (20 ×).

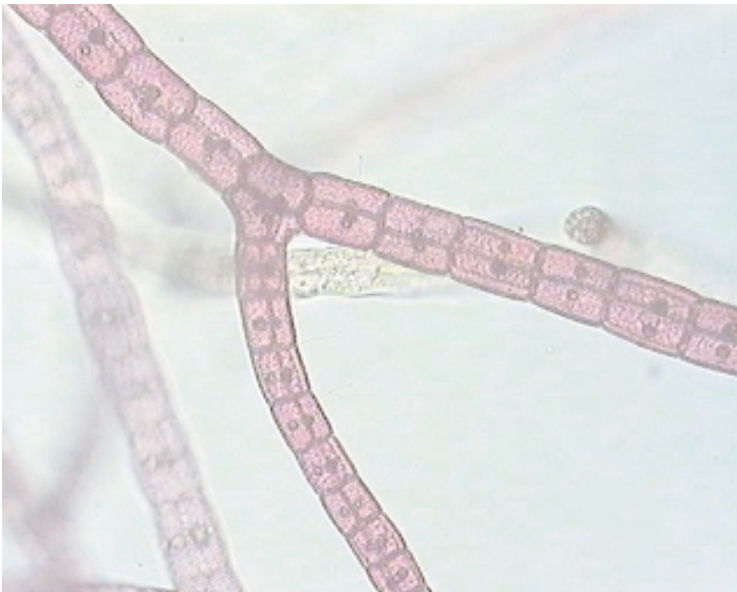


Fig. 10 — Filamento ramificato del tetrasporofito di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (100 ×).



Fig. 11 — Tetrasporofito di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan epifita su *Sargassum* sp. (Fucales, Phaeophyta). L'altezza massima del tallo è 1.5 cm.

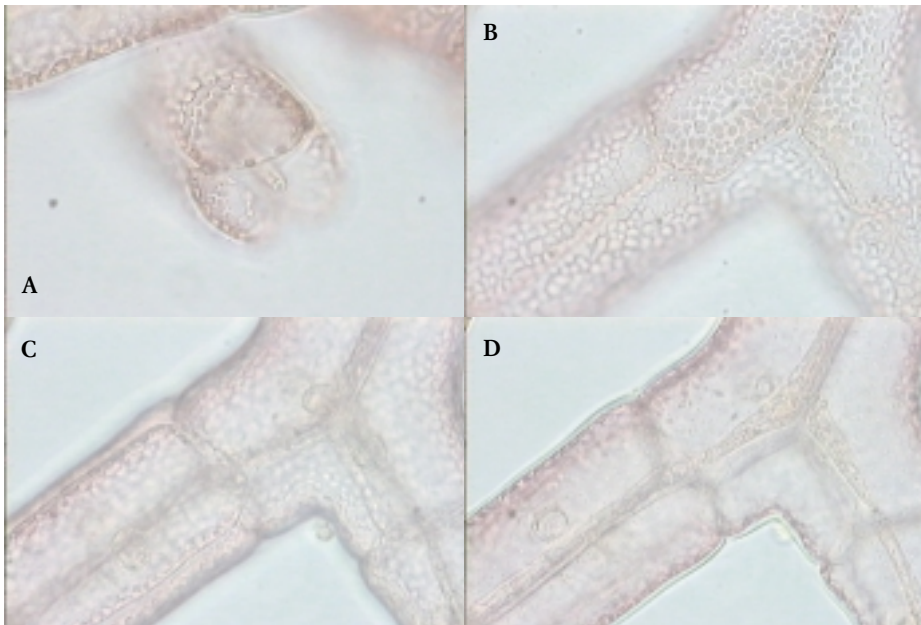


Fig. 12 — Organizzazione polisifonale del tetrasporofito di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan che evidenzia l'asse di crescita (A), la forma dei plastidi (B), le cellule ghiandolari attorno all'asse centrale (C) e (D) la ramificazione dell'asse centrale (400 ×).

Caratterizzata da un odore pungente *Asparagopsis taxiformis* è nota come fonte rilevante di numerosi metaboliti tossici, implicati presumibilmente nella difesa dal grazing. Le principali sostanze prodotte sono alocarburi volatili (VHOC), in particolare bromocarburi. I tassi di rilascio di VHOC aumentano al crescere dei valori di irradianza. È stato dimostrato che le cellule ghiandolari giocano un ruolo nella produzione di bromocarburi (MARSHALL *et al.*, 2003).

Attualmente nel genere *Asparagopsis* si riconosce una sola altra specie: *Asparagopsis armata* Harvey, endemica in acque temperate fredde e comune nel Mediterraneo, principalmente attraverso il suo stadio tetrasporofitico originariamente classificato come *Falkenbergia rufolanosa* (Harvey) F. Schmitz. Mentre lo stadio tetrasporofitico di *Asparagopsis armata* è morfologicamente indistinguibile dal tetrasporofito di *Asparagopsis taxiformis*, lo stadio gametofitico, pur simile strutturalmente, mostra comunemente rami sparsi, lunghi 1-3 cm, caratterizzati dalla presenza di spine apicali retrorse (Fig. 13). Questi peculiari rami, simili a piccoli arpioni, sono noti nella letteratura inglese come “barbs” (barbigli). *Asparagopsis armata*, ritenuta una specie introdotta, è stata segnalata per la prima volta nel Mediterraneo nel 1926 (BOUDOURESQUE *et al.*, 2002). È stato ipotizzato che le due specie possano essere morfotipi di una singola specie (DIXON & IRVINE, 1977). Un recente studio, utilizzando un



Fig. 13 — Parte apicale di un “barbiglio” di *Asparagopsis armata* Harvey dove sono evidenti le spine retrorse (6 ×).

approccio molecolare, ha concluso che le due specie *A. armata*-*F. rufolanosa* e *A. taxiformis*-*F. hillebrandii* sono geneticamente distinte (ANDREAKIS *et al.*, 2003).

I gametofiti di *Asparagopsis taxiformis* sono stati segnalati per la prima volta lungo le coste italiane nel maggio 2000 (BARONE *et al.*, 2003a). In particolare, sono stati rinvenuti nella Sicilia occidentale, nelle isole Egadi e nell'isola di Pantelleria (Fig. 14). La specie appare in rapida diffusione da almeno cinque anni, formando ampie popolazioni con comportamento invasivo stagionale. Uno studio successivo sulla distribuzione dei gametofiti in Sicilia (BARONE *et al.*, 2003b) ne ha rilevato la presenza anche nella Sicilia orientale (Fig. 14). Una serie di osservazioni, effettuate da maggio 2000 a giugno 2003, in una stazione sita presso il porto di Trapani (Fig. 14), ha permesso di evidenziare alcune caratteristiche dell'organismo. I talli gametofitici, emisciafili, crescono principalmente nella zona sublitorale superiore, su substrato roccioso e su numerose specie algali, più comunemente in aree caratterizzate da un elevato idrodinamismo. Lo stadio gametofitico si rinviene tutto l'anno con

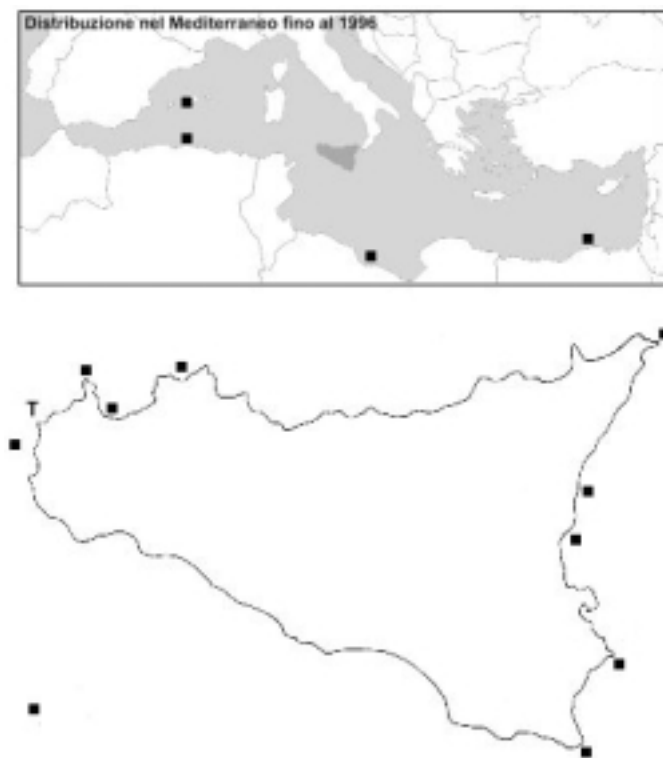


Fig. 14

un massimo di abbondanza in inverno e primavera ed un minimo in autunno. Il picco di attività riproduttiva si rileva in primavera. Gli individui fertili sono unisessuali (dioici), contrariamente a quanto riportato da osservazioni condotte in Nuova Zelanda (BONIN & HAWKES, 1987) ed in Australia (WOMERSLEY, 1994). Nel periodo estivo si osserva un'abbondante necromassa costiera di gametofiti, caratterizzati dalla presenza di grandi cistocarpi maturi (> 1 mm di diametro), di colore arancio per l'elevata concentrazione di carotenoidi fotoprotettivi (Fig. 15). Durante questo studio non è mai stata rilevata la presenza del tipico gametofito di *Asparagopsis armata*.

Fino al 1996 i gametofiti di *Asparagopsis taxiformis* erano stati segnalati nel Mediterraneo (Fig. 14) solo nelle coste dell'Africa settentrionale e nelle Isole Baleari (BALLESTEROS & RODRIGUEZ-PRIETO, 1996). Dopo il suo primo ritrovamento in Italia, il gametofito è stato rinvenuto anche in numerosi siti della costa occidentale italiana (ANDREAKIS *et al.*, 2003b). Nel Golfo di Napoli il tallo ha evidenziato un comportamento invasivo stagionale (FLAGELLA *et al.*, 2003) analogo a quello rilevato nella Sicilia occidentale.

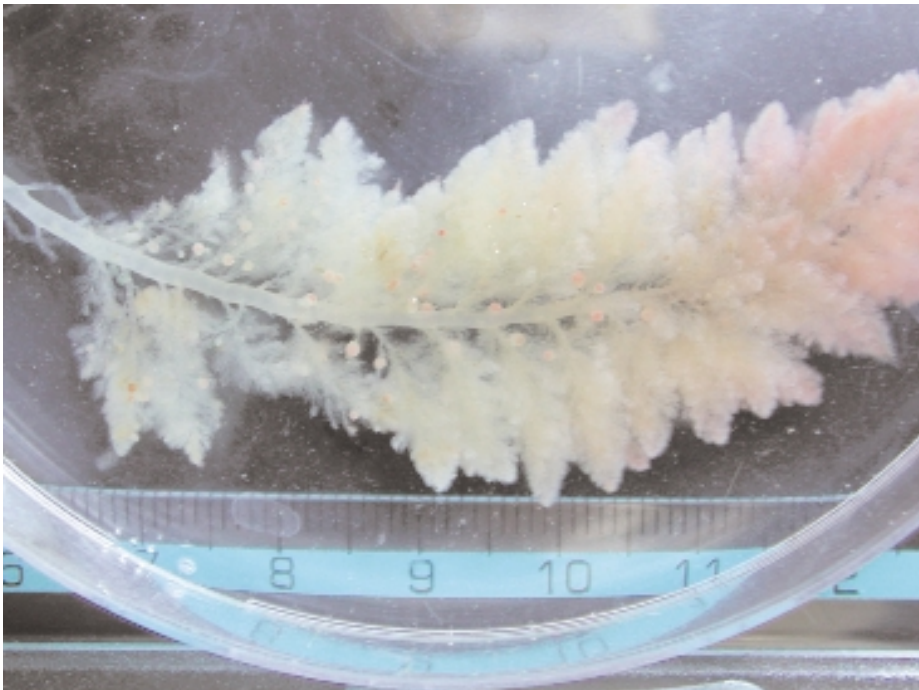


Fig. 15 — Cistocarpi colore arancio del gametofito femminile di *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan.

La specie è tradizionalmente considerata come immigrante lessepsiana (VERLAQUE, 1994). Un recente approccio molecolare supporta l'ipotesi che la specie sia stata introdotta nel Mediterraneo dall'Indo-Pacifico e non dall'Atlantico (ANDREAKIS *et al.*, 2003). Peraltro, la prima segnalazione dello stadio gametofitico nel Mediterraneo, rinvenuto in Egitto come materiale alla deriva (DELILE, 1813-1826), è precedente all'apertura del Canale di Suez (1869). Rimane, pertanto, ancora incerto l'eventuale sito di dispersione primaria. La specie potrebbe essere un immigrante prelessepsiano, importato nel bacino orientale del Mediterraneo attraverso i corsi d'acqua navigabili realizzati prima dell'apertura del Canale di Suez, un taxon recentemente introdotto dall'Atlantico o dall'Indo-Pacifico, od anche un relitto Tetiano. Non essendo pertanto dimostrabile con certezza se sia nativa od introdotta, *Asparagopsis taxiformis* dovrebbe essere definita come specie criptogenica.

Inoltre, la presenza dei gametofiti di *Asparagopsis taxiformis* in siti siciliani dove era stata precedentemente identificata *Asparagopsis armata*, unitamente all'assenza di recenti segnalazioni lungo le coste italiane dei gametofiti di *Asparagopsis armata*, lascia ipotizzare che il gametofito di *Asparagopsis taxiformis* sia stato competitivo e vincente nelle attuali condizioni di tropicalizzazione del Mediterraneo, agevolato presumibilmente dalla regressione del gametofito di *Asparagopsis armata*.

Non sussistono invece dubbi sul recente comportamento invasivo stagionale dei gametofiti di *Asparagopsis taxiformis*. Fra le otto specie che nel Mediterraneo possono essere assegnate alla categoria di organismi invasivi (BOUDOURESQUE & VERLAQUE, 2002) è inclusa *Asparagopsis armata*, che manifesta tale comportamento nel bacino nord occidentale. Le caratteristiche di *Asparagopsis taxiformis* sono simili; la specie ha notevoli dimensioni, è pseudoperenne, manifesta riproduzione sessuale, moltiplicazione vegetativa e produzione di metaboliti di difesa. *Asparagopsis taxiformis* dovrebbe, pertanto, essere considerata un nuovo bioinvasore del Mediterraneo.

Peraltro, rimane incerto quale o quali variabili abbiano innescato il suo comportamento invasivo. L'elevata produzione di metaboliti tossici, che prevengono il grazing dei principali macroerbivori del Mediterraneo (SALA & BOUDOURESQUE, 1997), e la probabile regressione di specie native di affinità boreale dovuta alla tropicalizzazione potrebbero aver giocato un ruolo predominante. Inoltre, la sua invasione potrebbe essere stata mediata da ibridazione; nelle piante è comune l'invasione attraverso l'ibridazione di due specie esotiche e la successiva diffusione degli ibridi (VILÀ *et al.*, 2000).

L'esempio di *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh offre un convincente esempio dell'opportunità persa di eradicare un'invasione nei primi stadi (SECORD, 2003) e mette in rilievo la necessità di ulteriori ricerche sulla biologia e sull'ecologia di *Asparagopsis taxiformis*.

TRICHODESMIUM ERYTHRAEUM EHRENBERG

I cianobatteri filamentosi coloniali del genere *Trichodesmium* (Phormidiaceae), caratterizzati dalla presenza di vescicole gassose, sono ritenuti i principali responsabili della fissazione di N_2 in habitat marino (CAPONE *et al.*, 1997), sebbene sia stato recentemente accertato che anche alcuni cianobatteri unicellulari nanoplanctonici, di dimensioni comprese fra 3 e 10 μm , possano giocare un ruolo rilevante (ZEHR *et al.*, 2001).

Trichodesmium è un genere marino planctonico diazotrofico, i cui bloom sono stati segnalati in tutti i mari oligotrofici tropicali e subtropicali del mondo. In particolare negli oceani Atlantico, Pacifico, Indiano, nei mari caraibici e nel sud della Cina (CAPONE *et al.*, 1997).

Da un punto di vista tassonomico il genere è ascritto alla famiglia Phormidiaceae, inclusa nell'ordine Oscillatoriales (ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK, 1988; KOMÁREK *et al.*, 2003). Morfologicamente è caratterizzato da un peculiare modello coloniale di vita rappresentato da tricomi (filamenti) fascicolati, reso possibile da un'elevata produzione di mucillagine. Le colonie, consistenti di parecchie centinaia di tricomi, possono essere suddivise in due principali categorie: fusiformi ("tuft") e sferiche ("puff"). Peraltro, i tricomi di *Trichodesmium* possono vivere anche individualmente.

Attualmente sono riconosciute quattro specie marine, sebbene persistano numerosi problemi tassonomici (JANSON *et al.*, 1995, 1999). La specie predominante sembra variare sistematicamente negli ecosistemi: *Trichodesmium thiebautii* Gomont è la specie più comune nel Mar dei Sargassi, nell'Atlantico tropicale e nei Caraibi, mentre *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg appare dominare negli oceani Indiano e Pacifico tropicale (CAPONE, 2001).

Il genere, pur privo di eterocisti, fissa N_2 durante le ore del giorno manifestando un ciclo giornaliero endogeno. In particolare, è stato dimostrato che in un tricoma solo alcuni gruppi di cellule, denominate diazociti, sono capaci di fissare N_2 mediante il complesso enzimatico nitrogenasi (MULHOLLAND & CAPONE, 2000). La fissazione di N_2 rappresenta un importante vantaggio ecofisiologico in ambienti dove gli altri composti inorganici di azoto sono esauriti. *Trichodesmium*, caratterizzato anche da un'elevata resistenza ad alte irradianze, è pertanto adattato ad avvantaggiarsi di una peculiare "finestra ecologica" denominata HLLN (High Light Low Nutrient). Il ferro, componente essenziale del complesso enzimatico nitrogenasi, sembra essere il principale fattore limitante in regioni oceaniche con basso apporto di polvere eolica (MULHOLLAND & CAPONE, 2000).

I bloom superficiali, sia costieri sia oceanici, di *Trichodesmium* spp. sono stati denominati differientemente "sea sawdust", "whale sperm", "whale food", "sea scum". Secondo la specie implicata e lo stato fisiologico degli

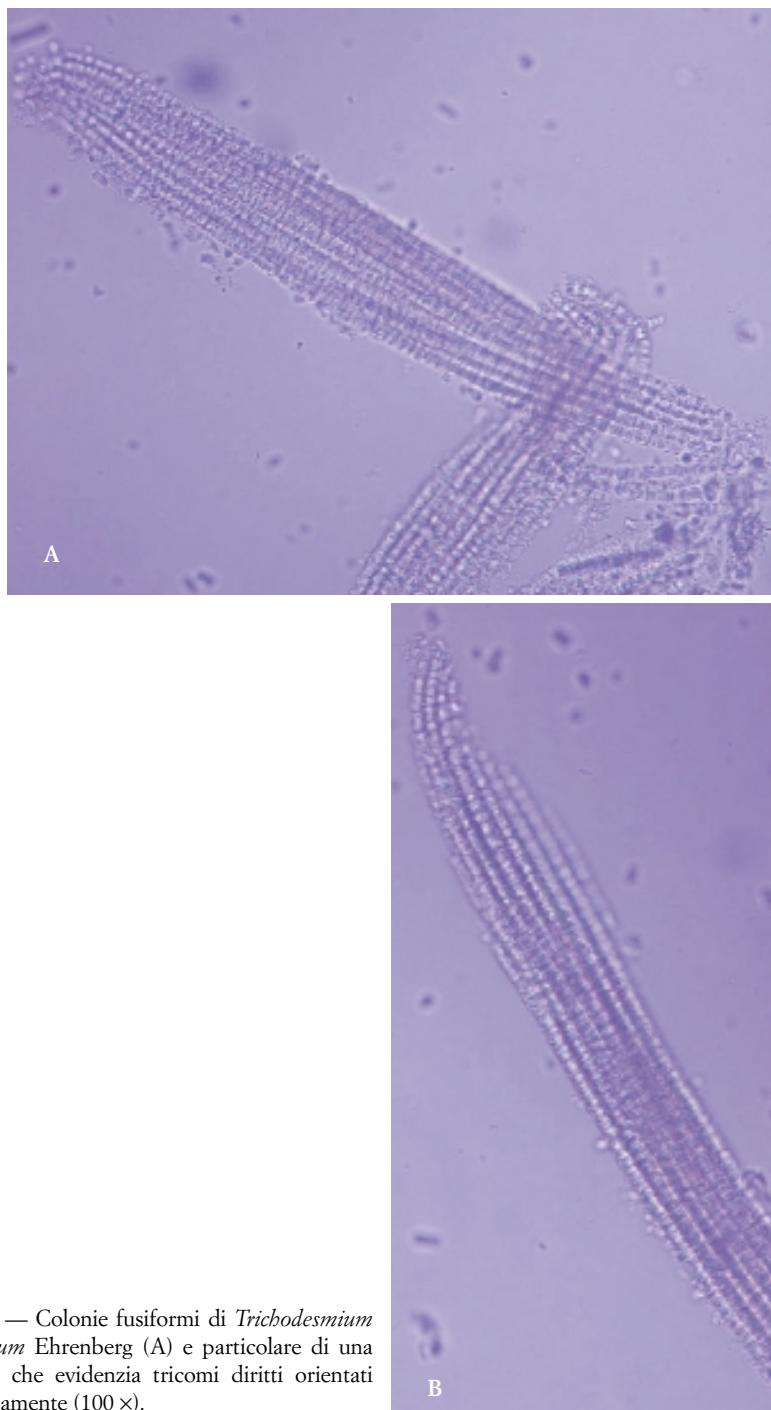


Fig. 16 — Colonie fusiformi di *Trichodesmium erythreum* Ehrenberg (A) e particolare di una colonia che evidenzia tricomi dritti orientati parallelamente (100 ×).

organismi, la colorazione delle acque varia dal rosso al ruggine, al grigio, od al verde. I bloom a *Trichodesmium* sono fenomeni a larga scala che possono manifestarsi su estese dimensioni temporali (da giorni a settimane) e spaziali (da 1.000 a > 100.000 km²). A causa della presenza di vescicole gassose e di ficoeritrina si possono mappare questi eventi usando tecniche satellitari (CAPONE, 2001).

Durante un bloom le colonie di *Trichodesmium* forniscono un peculiare habitat pelagico che supporta una complessa comunità di organismi consorziati (batteri, diatomee, dinoflagellati, funghi, protozoi, idrozoi e copepodi). Il cianobatterio, talvolta produttore di sostanze tossiche, non appare un alimento per il convenzionale zooplankton calanoide e ciclopoide, tuttavia sono state identificate due specie di copepodi arpacoidi, forme tipicamente bentoniche, adattate a vivere unicamente sui tricomi di *Trichodesmium* ed a nutrirsiene (SHERIDAN *et al.*, 2002).

Il modello di formazione ed il destino dei bloom non sono ancora noti. Peraltro, fra le condizioni necessarie perché si verifichi un bloom superficiale sono state identificate: elevate temperature dell'acqua (> 21 °C), bassa concentrazione di nutrienti, elevata trasparenza, e soprattutto venti deboli o totale assenza di vento per parecchi giorni precedenti l'evento (CAPONE *et al.*, 1997; LUGOMELA *et al.*, 2002).

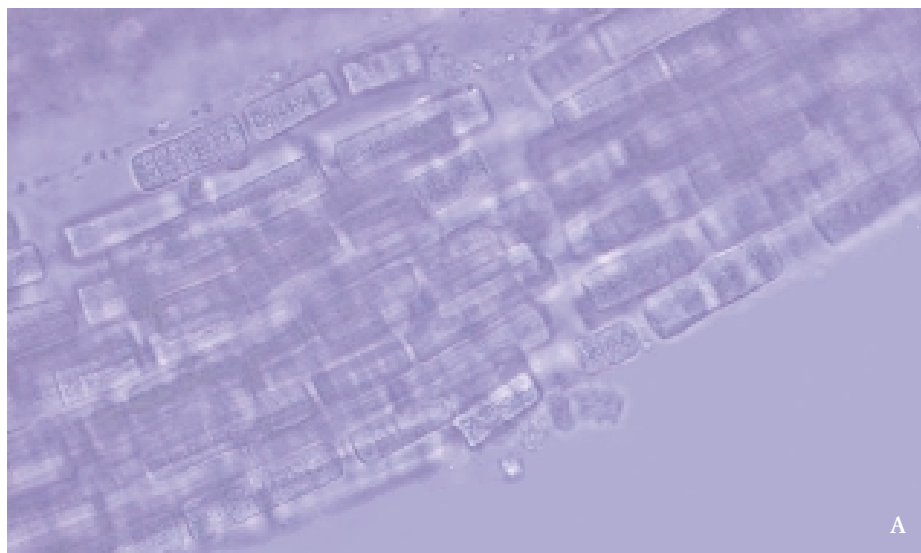
Nell'ottobre 1990 si è verificato un esteso bloom fitoplanctonico nelle acque costiere della Sicilia occidentale, visibile come una spessa (> 1 mm) patina superficiale di colore verde estesa per migliaia di km². L'analisi microscopica dei campioni ha permesso di ascrivere al genere *Trichodesmium* l'organismo responsabile del bloom.

Le singole colonie, fusiformi e visibili ad occhio nudo, hanno manifestato all'osservazione microscopica centinaia di tricomi diritti orientati parallelamente (Fig. 16). I tricomi, costituiti da corte cellule cilindriche (Fig. 17), hanno evidenziato una lunghezza media di 0,60 mm ed una larghezza compresa fra 8 e 10 μm.

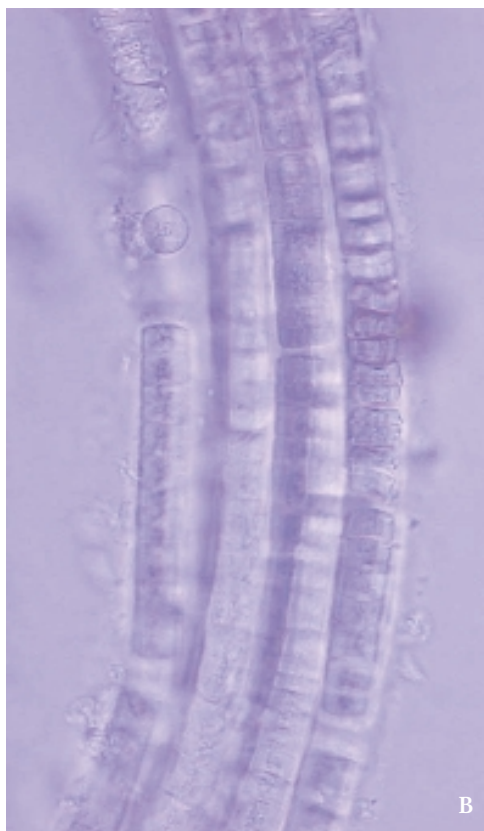
Seguendo gli schemi tassonomici riportati da JANSON *et al.* (1995) ed utilizzando le caratteristiche morfometriche, l'organismo è stato identificato come *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

BOERO (2002), pur sottolineando l'impossibilità di fare delle reali previsioni, afferma che l'insieme dei dati ad oggi rilevati nel Mediterraneo permette di effettuare una serie di ipotesi sul futuro del bacino:



A



B

Fig. 17 — Tricomi di *Trichodesmium erythreum* Ehrenberg con evidente mucillagine (A). In B è possibile osservare la vista frontale di una cellula (400 ×).

1. la persistenza dell'attuale tendenza verso la tropicalizzazione causerà un aumento dello spazio disponibile per le specie tropicali;
2. le specie indigene di affinità boreale andranno probabilmente incontro a periodi negativi, sopravvivendo in acque profonde meno influenzate dal riscaldamento superficiale;
3. le specie indigene di affinità tropicale attraverseranno probabilmente periodi positivi, ampliando il loro range geografico e stagionale di distribuzione;
4. alcune delle specie esotiche di origine tropicale che raggiungeranno il bacino avranno buone opportunità di proliferare;
5. le occasioni saranno più basse per il successo di specie aliene adatte a climi temperato-freddi.

Gli eventi descritti in questo studio, pur limitati alle coste siciliane ed a due sole specie, possono essere considerati un ulteriore supporto alla presunta tropicalizzazione del Mediterraneo. Ma quante specie aliene, pur invasive, sono passate e passano inosservate?

Questa domanda rende opportuno sottolineare, in pieno accordo con BOERO (2002), che il primo e fondamentale passo nello studio di eventuali invasioni biologiche è il riconoscimento delle specie e, pertanto, la competenza tassonomica. Descrivere qualitativamente il biota può fornire l'informazione di base per una maggiore comprensione e, si spera, una migliore gestione dell'intera biosfera. Bisogna, però, essere in grado di riconoscere gli invasori!

Le aree marine protette, che attualmente giocano un ruolo fondamentale nella conservazione della biodiversità del Mediterraneo e sono pertanto soggette ad un frequente monitoraggio, rappresentano un riferimento essenziale per una tempestiva diagnosi di invasività di specie aliene tropicali, elementi spesso responsabili di complesse alterazioni strutturali e funzionali degli ecosistemi da tutelare.

BIBLIOGRAFIA

- ANAGNOSTIDIS K. & KOMÁREK J., 1988 — Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4. Nostocales. — *Archiv Hydrobiol. Algol. Stud.*, 56: 517-526.
- ANDREAKIS N., KOIISTRA W. H. C. F. & PROCACCINI G., 2003 — Molecular and phylogeography of the genus *Asparagopsis*. — *Third European Phycological Congress (EPC3)*, Queen's University (Belfast, Ireland, 21-26 July 2003), Abstracts: 39.
- BALLESTEROS E. & RODRIGUEZ-PRIETO C., 1996 — Presència d'*Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan a Balears. — *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 39: 135-138.
- BARONE R., DI MARTINO V. & MANNINO A. M., 2003b — *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan in Sicily: distribution and reproductive strategies. — *Third European Phycological Congress (EPC3)*, Queen's University (Belfast, Ireland, 21-26 July 2003), Abstracts: 88.

- BARONE R., MANNINO A. M. & MARINO M., 2003a — *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan (Bonnemaisoniales, Rhodophyta). First record along Italian coasts and its ecological importance as potential invasive species. — *Boccone* 16 (2): 1021-1025.
- BOERO F., 2002 — Ship-driven biological invasions in the Mediterranean Sea. Pp. 87-91 in: CIESM, Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas. — *CIESM Workshop Monographs*, Monaco, 20: 1-136. www.ciesm.org/publications/Istanbul02.pdf.
- BONIN D. R. & HAWKES M. W., 1987 — Systematics and life histories of New Zealand Bonnemaisoniaceae (Bonnemaisoniales, Rhodophyta): I. The genus *Asparagopsis*. — *New Zealand Journal of Botany*, 25: 577-590.
- BOUDOURESQUE C. F. & VERLAQUE M., 2002 — Assessing scale and impact of ship-transported alien macrophytes in the Mediterranean Sea. Pp. 53-61 in: CIESM, Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas. — *CIESM Workshop Monographs*, Monaco, 20: 1-136. www.ciesm.org/publications/Istanbul02.pdf.
- BOUDOURESQUE C. F. & VERLAQUE M., 2002 — Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. — *Marine Pollution Bulletin*, 44: 32-38.
- CAPONE D. G., 2001 — Marine nitrogen fixation: what's the fuss? — *Current Opinion in Microbiology*, 4: 341-348.
- CAPONE D. G., ZEHR J. P., PAERL H. W., BERGMAN B. & CARPENTER E. J., 1997 — *Trichodesmium*, a globally significant marine Cyanobacterium — *Science*, 276: 1221-1229.
- DELILE A. R., 1813-1826 — Flore d'Égypte. Explication des planches. In: Description de l'Égypte. — *Histoire naturelle*, Paris, 2 (1813): 145-320; Atlas (1826): 62 pls.
- DIXON S. & IRVINE L. M., 1977 — Seaweeds of the British Isles. Vol.1 Rhodophyta. Part 1 Introduction, Nemaliales, Gigartinales. — *Br. Mus. (Nat. Hist.)*, London, 252 pp.
- FLAGELLA M. M., GUALA I., ESPOSITO A., LORENTI M. & BUIA M. C., 2003 — *Asparagopsis taxiformis* and *Caulerpa racemosa*: ecophysiological traits and interactions with native algal communities. — *Third European Phycological Congress (EPC3)*, Queen's University (Belfast, Ireland, 21-26 July 2003), Abstracts: 37.
- GALIL B. S., 2000 — A sea under siege-alien species in the Mediterranean — *Biological Invasions*, 2: 177-186.
- JANSON S., BERGMAN B., CARPENTER E. J., GIOVANNONI S. J. & VERGIN K., 1999 — Genetic analysis of natural populations of the marine diazotrophic cyanobacterium *Trichodesmium* — *FEMS Microbiol. Ecol.*, 30: 57-65.
- JANSON S., SIDDIQUI P. J. A., WALSBY A. E., ROMANS K. M., CARPENTER E. J. & BERGMAN B., 1995 — Cytomorphological characterization of the planktonic diazotrophic cyanobacteria *Trichodesmium* spp. from the Indian Ocean and Caribbean and Sargasso Seas. — *J. Phycol.*, 31: 463-477.
- KOMÁREK J., H. J. KLING & J. KOMÁRKOVÁ, 2003 — Filamentous cyanobacteria. Pp. 117-196 in: Wehr, J. D. & Sheath R. G. (eds), *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. — *Academic Press*, Massachusetts.
- LUGOMELA C., LYIMO T. J., BRYCESON I., SEMESI A. K. & BERGMAN B., 2002 — *Trichodesmium* in coastal waters of Tanzania: diversity, seasonality, nitrogen and carbon fixation. — *Hydrobiologia*, 477: 1-13.
- MARSHALL R. A., HAMILTON J.T.G., DRING M.J. & HARPER D.B., 2003 — Do vesicle cells of the red alga *Asparagopsis* (*Falkenbergia* Stage) play a role in bromocarbon production? — *Chemosphere*, 52: 471-475.
- MEINESZ A., BELSHER T., THIBAUT T., ANTOLIC B., MUSTAPHA K. B., BOUDOURESQUE C.-F., CHIAVERINI D., CINELLI F., COTTALORDA J.-M., DJELLOULI A., ABED A. E., ORESTANO C., GRAU A. M., IVESA L., JAKLIN A., LANGAR H., MASSUTI-PASCUAL E., PEIRANO A., TUNESI L., DE VAUGELAS J., ZAVODNIK N. & ŽULJEVIĆ A., 2001 — The introduced

- green alga *Caulerpa taxifolia* continues to spread in the Mediterranean. — *Biological Invasions*, 3: 201-210.
- MULHOLLAND M. R. & CAPONE D. G., 2000 — The nitrogen physiology of the marine N₂-fixing cyanobacteria *Trichodesmium* spp. — *Trends in Plant Science*, 5: 148-153.
- PANAYOTIDIS P. & ŽULJEVIĆ A., 2001 — Sexual reproduction of the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* in the Mediterranean Sea. — *Oceanologica Acta*, 24: 199-203.
- SALA E. & BOUDOURESQUE C. F., 1997 — The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community. I: Algal communities. — *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 212: 25-44.
- SECORD D., 2003 — Biological control of marine invasive species: cautionary tales and land-based lessons. — *Biological Invasions*, 5: 117-131.
- SHERIDAN C. C., STEINBERG D. K. & KLING G. W., 2002 — The microbial and metazoan community associated with colonies of *Trichodesmium* spp.: a quantitative survey. — *J. Plankton Res.*, 24: 913-922.
- VERLAQUE M., 1994 — Inventaire des plantes introduites en Méditerranée: origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. — *Oceanologica Acta*, 17: 1-23.
- VILÀ M., WEBER E. & D'ANTONIO C. M., 2000 — Conservation implications of invasion by plant hybridization. — *Biological Invasions*, 2: 207-217.
- WALTHER G.-R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T. J. C., FROMENTIN J.-M., HOEGH-GULDBERG O. & BAIRLEIN F., 2002 — Ecological responses to recent climate change. — *Nature*, 416: 389-395.
- WOMERSLEY H. B. S., 1994 — The marine benthic flora of southern Australia. Part III B Gracilariales, Rhodymeniales, Corallinales and Bonnemaisionales. — *Australian Biological Resources Study & the State Herbarium of South Australia*, Canberra, 392 pp.
- WYATT T. & CARLTON J. T., 2002 — Phytoplankton introductions in European coastal waters: why are so few invasion reported? Pp. 41-46 in: CIESM, Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas. — *CIESM Workshop Monographs*, Monaco, 20: 1-136. www.ciesm.org/publications/Istanbul02.pdf.
- ZEHR J. P., WATERBURY J. B., TURNER P., MONTOYA J. P., OMOREGIE E., STEWARD G. F., HANSEN A. & KARL D. M., 2001 — Unicellular cyanobacteria fix N₂ in the subtropical North Pacific Ocean. — *Nature*, 412: 635-638.

Indirizzo dell'Autore — R. BARONE, Dipartimento di Scienze Botaniche, via Archirafi 38, 90123, Palermo (I); e-mail: rossella.barone@unipa.it

