

Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 41	pp. 25-45	Trieste, 28 febbraio 2007
---	---------	-----------	---------------------------

JO DE WAELE (\*)

## **IMPATTO AMBIENTALE DI ATTIVITÀ ANTROPICHE SULLE AREE CARSICHE IN SARDEGNA**

### **RIASSUNTO**

*Circa un decimo della superficie della Sardegna è caratterizzato dall'affioramento di rocce carbonatiche di varia età. Queste aree sono spesso ricche di manifestazioni carsiche superficiali e sotterranee e costituiscono territori di elevato valore naturalistico e scientifico con una spiccata vulnerabilità intrinseca. Le attività umane da sempre hanno avuto un ruolo nelle modificazioni dell'ambiente carsico della Sardegna, ma è soprattutto nel secolo scorso che il loro impatto è divenuto più significativo. In questo lavoro vengono illustrati i fattori di pressione più rilevanti, tra cui meritano una particolare attenzione l'industria (soprattutto quella mineraria), gli insediamenti urbani, il turismo, l'agricoltura e le servitù militari.*

*Appare sempre più chiaro l'impatto ambientale delle attività antropiche nelle aree carsiche della Sardegna e la necessità di una normativa in grado di tutelare queste zone di grande importanza per l'uomo per le sue risorse ambientali e scientifiche.*

### **SUMMARY**

#### **LAND USE AND MEN IMPACT ON KARST AREAS IN SARDINIA (ITALY)**

*Almost one tenth of the surface of Sardinia is characterised by the outcropping of carbonate rocks of different ages. These areas are often rich in both surface and underground karst features and are intrinsically vulnerable territories of great naturalistic and scientific value. Human activities have since long time had an important role in the geo-environmental changes of these karst areas, and their impact has increased considerably in the last century. The most significant pressures on the environment, such as industry (especially mines and quarries), urban settlements, tourism, agriculture and military settlements are here illustrated. This continuously increasing environmental impact on the karst areas of Sardinia is making legislation, able to safeguard these delicate geo-ecosystems, extremely necessary. Only in this way the environmental and scientific resources of Sardinian karst areas will be protected for the future generations.*

(\*) Istituto Italiano di Speleologia, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Via Zamboni 67, I - 40126 Bologna - E-mail: dewaele@geomun.unibo.it

## Introduzione

Le aree carsiche sono considerate tra gli ambienti più interessanti dal punto di vista scientifico, con una ricca e diversificata fauna e flora. Ospitano spesso sedimenti con un importante contenuto paleontologico ed archeologico, preservate dall'erosione nei ripari e nelle grotte. Nelle fratture e nei condotti carsici scorrono acque sotterranee di buona qualità che riaffiorano abbondanti in corrispondenza di sorgenti e risorgenti talvolta inseriti in un paesaggio di incomparabile bellezza. Purtroppo esse anche aree molto vulnerabili, esposte a rischi sia naturali che antropici in modo sempre più preoccupante. Esistono molti studi che trattano il problema dell'impatto umano sulle aree carsiche, spesso riuniti in volumi monografici o atti di simposi (AA.VV., 1989; SAURO *et al.*, 1991; GILI & PEANO, 2003; CHIESI *et al.*, 2006). Per diverse aree geografiche italiane esistono studi specifici che mettono in luce e cercano di quantificare l'impatto antropico sull'ambiente carsico (BURRI, 1989; CUCCHI, 1990; SAURO, 1993; BURRI, 1994; BURRI *et al.*, 1999; DRYSDALE *et al.*, 2001; PARISE & PASCALI, 2003). Anche in Sardegna, dove l'impatto antropico sulle aree carsiche è diverso rispetto al resto d'Italia a causa dell'alta incidenza di attività estrattive, sono stati fatti alcuni studi (ARU *et al.*, 1982; FORTI *et al.*, 1988; DE WAELE & PISANO, 1998): in questo lavoro si cerca di aggiornare tali dati.

## Le aree carsiche in Sardegna

In Sardegna affiora un basamento Paleozoico, per lo più costituito da rocce intrusive e metamorfiche, sul quale poggiano in discordanza varie unità sedimentarie e vulcaniche di età più recente. L'orografia è molto varia, caratterizzata da estese aree subpianeggianti corrispondenti a fosse tettoniche (es. Campidano) oppure ad altipiani basaltici (es. le "giare", l'altopiano di Abbasanta), interrotte da alcuni grandi apparati vulcanici (Monte Arci, Monti Ferru) oppure da aree montuose, spesso composte da rocce granitoidi, carbonatiche o metamorfiche. Le quote massime si raggiungono nel massiccio del Gennargentu (Punta La Marmora, 1834 m s.l.m.). Le rocce carbonatiche occupano meno di un decimo della superficie isolana. Questi affioramenti, che si trovano sia in zone costiere sia in aree montane fino a quota 1500, costituiscono spesso aree carsiche. Dal punto di vista geologico-geografico si possono distinguere diversi gruppi carsici, che riuniscono un numero più o meno grande di aree carsiche dalle caratteristiche piuttosto omogenee, i più importanti dei quali sono il gruppo Cambriano del Sulcis-Iglesiente, le aree Giurassico-Cretacee del Supramonte, dei Tacchi (o Tonneri) e della Nurra, l'esteso altopiano Eocenico del Salto di Quirra e le grandi coperture calcaree Mioceniche del Turritano-Logudoro-Anglona, del Cagliariitano e dell'Alta Marmilla. Esistono inoltre diversi affioramenti più piccoli, di età Siluro-Devoniana, Triassica e Giurassica, che completano il quadro delle rocce carsiche regionali (DE WAELE & GRAFITTI, 1998a).

L'inventario delle aree carsiche della Sardegna, pubblicato alcuni anni fa, conta ben 219 aree carsiche che coprono una superficie totale di 2088 km<sup>2</sup>, corrispondenti a 8,7 % della superficie dell'Isola (DE WAELE, 2003b) (fig. 1).

Le aree carsiche, malgrado questa ridotta superficie, occupano un posto di rilievo nei lineamenti del territorio sardo (DE WAELE, 2003a). Insieme al paesaggio granitico, quello carsico è il più rappresentativo della Sardegna, con moltissimi geomorfositi ben conosciuti al grande pubblico, come Perda Liana, le splendide cale del Golfo di Orosei, Su Gologone, la voragine del Golgo (DE WAELE *et al.*, 1999) e diverse grotte turistiche (Nettuno, Bue Marino, Ispinigoli, Su Marmuri ecc.) (DE WAELE & GRAFITTI, 1998b).

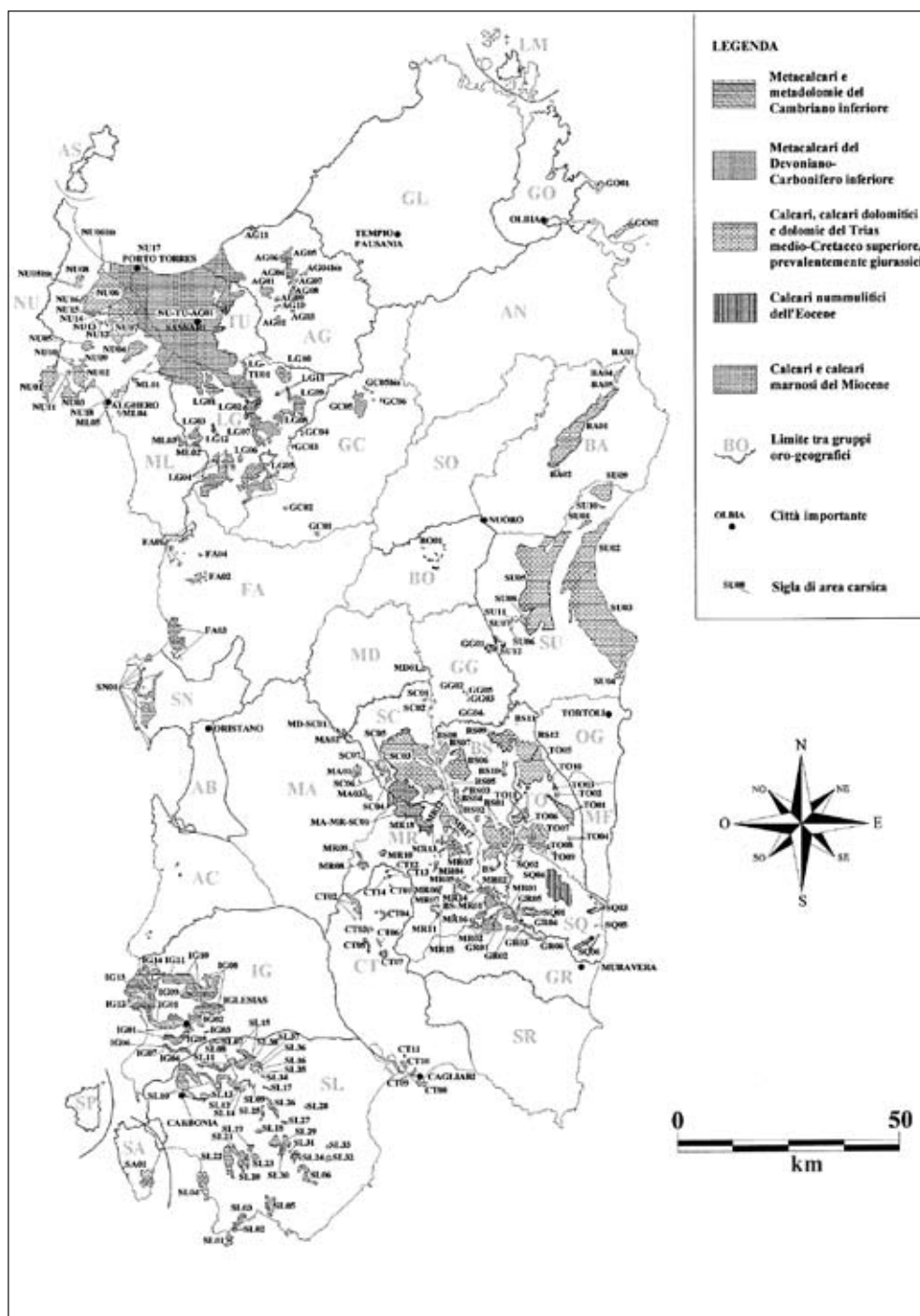


Fig. 1 – Gruppi oro-geografici ed aree carsiche della Sardegna con cenni sulla geologia (modificato da DE WAELE, 2003b); le sigle si riferiscono all'elenco catastale delle aree carsiche.

Fin dalla sua comparsa nell'Isola, probabilmente circa 20.000 anni fa (SONDAAR *et al.*, 1995), l'uomo ha spesso trovato rifugio nei ripari e nelle grotte. La frequentazione delle aree carsiche, in molti casi piuttosto inospitali e di difficile accesso, è aumentata soprattutto con l'arrivo di invasori stranieri che spingevano le popolazioni locali a difendersi nelle regioni interne dell'Isola (fig. 2). Così anche nei monti carbonatici dell'interno nascevano villaggi, costruzioni di difesa (nuraghi) e varie strutture di adattamento (raccolta d'acqua, deforestazioni, miglioramenti del pascolo). L'impronta geomorfologica di queste attività umane sui territori carsici, inizialmente molto ridotta, è andata via via crescendo, con un notevole aumento d'incidenza soprattutto negli ultimi due secoli. Il presente lavoro intende proprio mettere in luce questi fattori di pressione più importanti.

Lo studio di queste dinamiche evolutive fornisce una chiave di lettura indispensabile per la comprensione globale dei geo-ecosistemi carsici che potrà, in un prossimo futuro, costituire la base per i piani di gestione di questi fragili ambienti.



Fig. 2 – Il villaggio nuragico di Tiscali, costruito all'interno di una dolina di crollo nel Supramonte (Oliena-Dorgali).

### **Le risorse dell'ambiente carsico e la loro vulnerabilità**

L'ambiente ed il paesaggio carsico risultano generalmente molto vulnerabili alle pressioni ambientali indotte da processi naturali e/o antropici. Inoltre, le aree carsiche sono state spesso preferite dall'uomo per tutta una serie di motivi, tra cui l'esistenza di cavità e ripari sottoroccia e, in particolare sui bordi dei massicci carbonatici, la presenza di ricchi boschi, ottimi suoli e fonti idriche consistenti.

Le risorse delle aree carsiche possono schematicamente essere suddivise in 4 grandi categorie: l'acqua (e, in connessione con essa, l'atmosfera), l'ambiente geomorfologico in generale, la risorsa biologica e quella culturale.

L'inquinamento ed il depauperamento della risorsa idrica rappresentano sicuramente i problemi più importanti. A causa della continua e crescente urbanizzazione, infatti, queste aree, ed in particolare la risorsa acqua in loro contenuta, sono sempre più esposte ad elevati

rischi di contaminazione e di sovrasfruttamento. L'alta velocità di flusso delle acque sotterranee e la scarsa capacità di autodepurazione dell'acquifero carsico determinano un'elevata vulnerabilità all'inquinamento. Fattori che possono attenuare gli effetti della contaminazione sono la presenza di suoli e coperture vegetali, una zona epicarsica ben sviluppata, il deflusso più lento in microfratture invece che in condotte carsiche e la diluizione da parte di acque meteoriche non contaminate (VIGNA & CALANDRI, 2001; FORTI 2002; VIGNA, 2002). L'inquinamento delle acque carsiche non è un processo del tutto irreversibile, tuttavia certi tipi di contaminazione possono perdurare nel tempo e compromettere la risorsa per molti decenni, se non secoli. Esiste infatti il fenomeno, tipico per gli acquiferi carsici, dell'accumulo degli inquinanti, i quali vengono mobilizzati soltanto durante le piene con improvvisi picchi di inquinamento. Non va dimenticato, inoltre, il crescente problema dello sfruttamento incontrollato della falda idrica che tende ad abbassare la superficie freatica, causando il prosciugamento di sorgenti oltre che dissesti in superficie (subsidenze e doline di crollo) (AA.VV., 2000; NISIO, 2004) oppure richiamando, specie nelle zone costiere, acqua salmastre con conseguenze gravi dal punto di vista qualitativo (DELLE ROSE *et al.*, 2003).

La risorsa geomorfologica è molto più articolata e comprende la morfologia carsica superficiale (macro- e microforme), il suolo, l'epicarso e le grotte con i loro depositi. Si tratta in genere di risorse difficilmente rinnovabili, e il loro degrado può avere conseguenze gravi anche a lungo termine. Il sistema geomorfologico poi è strettamente legato a quello idrogeologico, quindi ogni eventuale modificazione dell'ambiente superficiale ed epicarsico ha dirette conseguenze anche sulla dinamica con cui è alimentato l'acquifero (JONES *et al.*, 2003).

Le aree carsiche costituiscono anche degli ecosistemi unici in cui trovano rifugio tantissime specie animali e vegetali. Sulle rupi calcaree, nelle garighe montane, sul fondo delle depressioni carsiche e sui litosuoli carbonatici vegetano innumerevoli varietà di piante endemiche che compongono un'associazione floristica molto ricca, mentre nell'epicarso e nelle cavità naturali abita un'importante fauna troglobia e troglifila con numerose specie endemiche d'elevato valore scientifico e biogeografico (BANI, 2001).

Sempre negli anfratti e nelle grotte inoltre si sono conservati dei sedimenti ricchi di reperti paleontologici e archeologici d'inestimabile valore culturale. Il paesaggio carsico spesso custodisce anche antichi segni dell'opera dell'uomo, con adattamenti della morfologia ed insediamenti spesso tipici di queste aree. Un esempio è dato dall'impermeabilizzazione di doline per lo stoccaggio di acque superficiali (LAUREANO, 2001), dai muretti a secco prodotti dallo spiatramento dei terreni calcarei (BURRI *et al.*, 1999) oppure dagli ingegnosi sistemi di raccolta delle acque costruiti dai pastori (DE WAELE & NIEDDU, 2005). Tutte queste modificazioni del paesaggio rendono uniche le aree carsiche nell'ambito del Mediterraneo (GAMS *et al.*, 1993).

### **I fattori d'impatto sull'ambiente carsico**

Le azioni che possono cambiare i delicati equilibri dei geo-ecosistemi carsici sono molteplici e sono riportate in tabella 1. Le modificazioni sull'ambiente carsico possono essere reversibili, ma spesso sono di carattere irreversibile con la perdita della risorsa. Tra le azioni che portano a danni irreversibili citiamo le cave e le miniere, l'erosione del suolo, l'asportazione di elementi naturali (flora, fauna, minerali, fossili, concrezioni, ecc.) e manufatti (reperti archeologici). Modificazioni reversibili, anche se il ripristino delle condizioni di partenza è spesso difficilmente attuabile, sono le varie opere dell'uomo (urbanizzazioni, strade ecc.), pompaggi ed allagamenti, incendi, riempimenti vari (discariche di varie dimensioni, sia solidi sia liquidi) e compattazione del suolo. In molti casi il ritorno alle condizioni naturali richiede molto tempo (in genere diversi anni, talvolta anche secoli) e spesso grandi investimenti finanziari.

Azione	Risorsa	Estrazione Cave o miniere	Erosione	Asportazione	Riempimento			Compattezza	Allargamento	Pompaggio	Incendio	Insediamento			
					Naturale	Liquido	RSU					Civile	Militare	Agricolo	Industriale
Acqua	Superficiale	1	1	0	0-1	3	2	1	0-3	0-3	1	1	1	1-3	1-3
	Sorgenti	0-3	1	0	0-1	1	1	0-1	0-3	0-3	0-1	1	1	1-3	1-3
	Sotterranea	0-3	1	0	0-1	3	2	0-1	0-2	0-3	0-1	1	1	1-3	1-3
Geomorfologia	Paesaggio	1-3	1-2	1	0-1	0-3	0-3	0-1	0-1	0-2	0-3	1-3	1-2	1-3	1-3
	Suolo	0-1	2-3	1-3	0	0-1	2	1-3	0-1	0-1	0-3	1-3	1	1-2	1-3
	Epicarso	0-1	1	1-3	0-1	0-1	1-3	1-3	0	0-1	0-1	1-3	1	1-3	1-3
Biosfera	Flora	0-1	1	1-3	0	0-1	0-1	1	0-1	0-1	1-3	1-2	1	1-3	1-3
	Fauna terrestre	0-1	0-1	1-3	0	1	1	0-1	0-1	0	0-1	0-1	0-1	1	1-3
	Fauna acquatica	0-1	0-1	1-3	0	3	2	0-1	0	0-3	0	0-1	0-1	1	1-3
Culturale	Paesaggio Culturale	1-3	1	1-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	1	1-2	1	1-3	1-3
	Archeologia	0-3	0-1	1-3	0-1	0	0-1	0-1	0-1	0	0-1	1-2	0-1	1-3	1-3
	Paleontologia	0-3	0-1	1-3	0-1	0	0-1	0-1	0-1	0	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1

Tab. 1 – Principali cause di pressione sulle principali risorse delle aree carsiche e loro influenza (0: assente, 1: bassa, 2: media, 3: elevata).

A queste azioni dirette si dovrebbe anche aggiungere il cambiamento globale con una spesso progressiva desertificazione delle aree carsiche ed un crescente verificarsi di eventi meteorologici estremi. In tutti questi cambiamenti la responsabilità dell'uomo è ormai chiara, e soltanto pianificando attentamente le azioni antropiche sarà possibile mitigare l'impatto sull'ambiente carsico. Spesso questo richiede l'adeguamento della legislazione internazionale, nazionale, regionale e locale, oltre che una diffusione delle conoscenze sull'ambiente carsico e la sua vulnerabilità non solo in ambito speleologico e scientifico, ma anche a livello della popolazione e delle varie istituzioni coinvolte.

### **L'impatto antropico sul carso in Sardegna**

Le attività antropiche da sempre hanno avuto un ruolo rilevante nelle modificazioni dell'ambiente carsico della Sardegna, ma è soprattutto nel secolo scorso che il loro effetto si è fatto più indicativo. In linea generale, l'impatto umano sulle aree carsiche è ancora abbastanza contenuto ed è principalmente legato alle attività minerarie, alla deforestazione operata soprattutto nei secoli scorsi, agli incendi, alle attività pastorali, a varie forme d'urbanizzazione, allo sfruttamento degli acquiferi, all'inquinamento della falda, alla discarica di materiali più o meno pericolosi, alle servitù militari ed, in misura minore seppur non trascurabile, alle attività escursionistiche e speleologiche. Quello dovuto all'industria, le grandi opere, l'agricoltura e la zootecnia, che assume talvolta grande rilevanza in altre regioni italiane, è presente nell'Isola una dimensione più contenuta.

In tabella 2 è riassunta l'evoluzione nel tempo dell'influenza dell'azione umana sul carso in Sardegna.

L'impatto ambientale legato alle attività industriali si concentra soprattutto nelle aree minerarie dell'Iglesiente e del Sulcis, ma anche in altre aree estrattive dell'Isola (Baronie, Sarcidano) ove sono presenti piccole miniere (fig. 3) oppure cave lapidei ornamentali e per l'industria (fig. 4). Questa forte impronta minerario-storica in Sardegna ha recentemente portato all'istituzione del Parco Geominerario, Storico ed Ambientale della Sardegna, riconosciuto dall'UNESCO e comprendente 8 aree distinte (DE WAELE *et al.*, 1998) (fig. 5). In alcune di queste il paesaggio è profondamente modificato non soltanto dagli scavi a cielo aperto ed in sotterraneo, ma anche dalle discariche di varia natura, mentre i sistemi idrici superficiali e sotterranei sono stati interessati spesso da intensi fenomeni di contaminazione da metalli pesanti (CIDU *et al.*, 2005). È rilevante, a tale proposito, l'esempio del distretto minerario d'Iglesias dove l'abbassamento della falda freatica, per consentire lo sfruttamento economico dei giacimenti piombo-zinciferi fino a 200 m al di sotto del livello del mare, operato sin dalla fine dell'800, ha pesantemente modificato il sistema idrologico. L'impianto d'eduzione nella Miniera di Monteponi non solo ha richiamato acque salate e profonde con conseguente peggioramento delle qualità delle acque, ma ha avuto effetti negativi anche sui bacini idrogeologici adiacenti. Con la chiusura degli impianti nel 1997 la situazione si sta lentamente normalizzando, ma ci vorranno ancora diversi anni per far tornare l'acquifero al suo equilibrio naturale. Ancora oggi molte sorgenti carsiche mostrano contenuti in metalli pesanti fuori norma (CIDU, 2005), ed anche i suoli sono spesso caratterizzati da alti contenuti in metalli (HARRES *et al.*, 1987; ARU *et al.*, 1994).

Le discariche minerarie ed i fanghi di flottazione, questi ultimi talvolta abbandonati in piccole dighe costruite lungo gli alvei dei torrenti, portano, in particolare durante le sempre più frequenti piene, nel sistema carsico delle torbide ricche in metalli pesanti che rendono inutilizzabili le acque alle sorgenti captate. Esempi ben noti sono la sorgente di San Giovanni presso Domusnovas (fig. 6), che raccoglie le acque di un bacino idrogeologico molto grande comprendente la vallata di Rio Sa Duchessa, lunga la quale sono ubicate alcune importanti miniere piombo-zincifere (DE WAELE & PISANO, 1998).

Periodo	Attività umane in aree carsiche	Impatto ambientale
Preistoria (da ca. 18000 a.C.)	Primi insediamenti in grotta: piccoli nuclei familiari composti da cacciatori.	Modificazioni delle parti iniziali delle grotte (costruzioni, sepolture, fuochi, resti fittili e di pasto, ecc.)
Prenuragico-nuragico (5000 a.C.-II d.C.)	Progressivo spostamento di popolazioni verso l'interno. Oltre alle attività pastorali e di caccia ci sono le prime sistemazioni dei terreni per il pascolo e per la semina del grano.	Taglio di bosco, bonifica di terreni (spiетramenti), adattamenti morfologici legato soprattutto alla raccolta dell'acqua ed a motivi militari e difensivi
Fenici-Romani (VIII a.C.- V d.C.)	Prime attività minerarie in alcune zone dell'Iglesiente per il piombo argentifero.	Piccole discariche, taglio di legname, inquinamento della falda, costruzione di strade e sentieri
Pisani (XIII-XIV d.C.)	Ripresa dell'attività mineraria per piombo argentifero.	Ibidem ma con maggiore impatto ambientale
Medioevo - XVIII d.C.	Divisione dei territori. espansione dell'agricoltura, taglio del bosco e della pastorizia.	Progressiva eliminazione del bosco in favore di terre coltivabili, erosione del suolo. Inizio di inquinamento delle acque
XIX - 1950 d.C.	Attività mineraria a scala industriale.	Grande impatto delle miniere sull'ambiente, con grandissimi scavi, discariche di sterili e fanghi di flottazione, depressione della falda idrica, inquinamento da metalli pesanti e sostanze chimiche, aumento delle vie di comunicazione.
1950 d.C. - oggi	Industria mineraria in continua dismissione, aumento delle attività industriali (petrolchimici) e dell'edilizia urbana.	Crescente impatto delle costruzioni e della viabilità, discariche, opere pubbliche. Richiesta di acque con sfruttamento della falda con l'innescò di fenomeni di prosciugamento di sorgenti e di subsidenza (doline di crollo)
1960 d.C. - oggi	Sviluppo esponenziale delle attività legate al turismo, soprattutto quello costiero ma anche in montagna.	Crescente domanda di terreni per l'edilizia turistica e aumento della domanda idrica, soprattutto d'estate. Equipaggiamento del territorio (sentieri, vie d'arrampicata, grotte speleologiche, canyons, ...). Apertura di grotte turistiche.

Tab. 2 – Evoluzione dell'impatto umano sulle aree carsiche della Sardegna.





Fig. 3 – Il ponticello in ferro sul torrente Bau Adrussi, all’uscita dalla galleria nella miniera di piombo e fluorite di Ualla (Asuni), ormai dismessa. (Foto Laura Sanna)

L’abbassamento della falda freatica per consentire lo sfruttamento dei ricchi giacimenti Paleozoici non è avvenuto soltanto nell’Iglesiente. Nella zona di Narcao e Nuxis, nel Sulcis, il pompaggio in una vicina miniera ha provocato la formazione di una serie di sinkholes, fortunatamente situati tutti in terreni agricoli, tuttavia non lontano da abitazioni (DE WAELE & FRAU, 2001).

Altri imponenti crolli sono avvenuti nella zona di Aquaresi (Iglesias), ma in questo caso sono i grandi vuoti minerari stessi, scavati nelle rocce carbonatiche Cambriane, ad aver causato i dissesti. Calcoli errati della stabilità dei vuoti, infatti, hanno creato una serie di collassi gravitazionali che hanno interessato sia il versante, sia la vallata sottostante causando danni alla strada che collega la frazione mineraria di Masua a Buggerru (Grosso *et al.*, 2005).

L’impatto delle miniere dell’Iglesiente sulle aree carsiche, tuttavia, non è stato soltanto negativo. Grazie alle coltivazioni in sotterraneo, infatti, sono stati scoperti innumerevoli ambienti carsici e grotte di miniera, alcuni di eccezionale valore estetico e scientifico come la grotta di Santa Barbara (DE WAELE & NASEDDU, 2005).

Molti paesi minerari, come Buggerru, Iglesias e Carbonia, si sono sviluppati almeno parzialmente su aree carsiche, con conseguente impatto negativo sull’ambiente (fig. 7). Sassari, Sadali ed Alghero, per nominare le più importanti, sono altre città edificate su aree carbonatiche. In tutti questi casi esistono problemi legati alla costruzione d’impianti ed infrastrutture (strade, acquedotti e fognature, discariche, pozzi per acqua, ecc). Ol-

tre alle modificazioni nel paesaggio dovuto all'urbanizzazione, spesso si accentuano anche i fenomeni di degrado dell'ambiente carsico (DE WAELE, 1999; SORO & CROBU, 1999; VILLANI, 2005). L'approvvigionamento idropotabile per queste popolazioni si basa spesso sulla captazione di sorgenti carsiche (DE WAELE & MURGIA, 2001). Su molte di queste, che spesso sono anche dei siti di grande importanza paesaggistica ed ecologico, sono state realizzate in passato delle opere di captazione che ne stravolgono la natura, purtroppo spesso in modo pressoché irreversibile. Esempi tipici sono le sorgenti carsiche di San Giovanni Su Anzu (Dorgali) (fig. 8), Pubusinu (Fluminimaggiore), San Giovanni (Domusnovas) (cfr. fig. 6), Fruncu 'e Oche (Siniscola), Caput Acquas (Villamassargia), Su Gologone (Oliena), soltanto per citare le più importanti.

Anche l'agricoltura ha avuto un impatto non trascurabile sull'ambiente carsico, soprattutto con la realizzazione di numerosi pozzi, che ha provocato un abbassamento della falda idrica ed indotto numerosi dissesti idrogeologici. Alcune sorgenti carsiche importanti, come quella di Caput Acquas (Cixerri), si sono prosciugate completamente e le acque, che alimentano gli acquedotti di Iglesias, Villamassargia e Carbonia, vengono ormai pompate da oltre 80 metri di profondità (BIANCO & DE WAELE, 1992; ARDAU *et al.*, 2006). Sempre nella stessa zona si sono verificati importanti fenomeni di subsidenza, con doline di crollo che superano i 10 metri di profondità, formatesi a pochi metri da importanti vie di comunicazione (BALIA *et al.*, 2001; ARDAU *et al.*, 2006) (fig. 9).



Fig. 4 – La cava abbandonata di Silanus, oggetto di diversi programmi di ripristino ambientale, fa ancora da sfondo al paese con i candidi gradoni di marmo bianco. (Foto Laura Sanna)

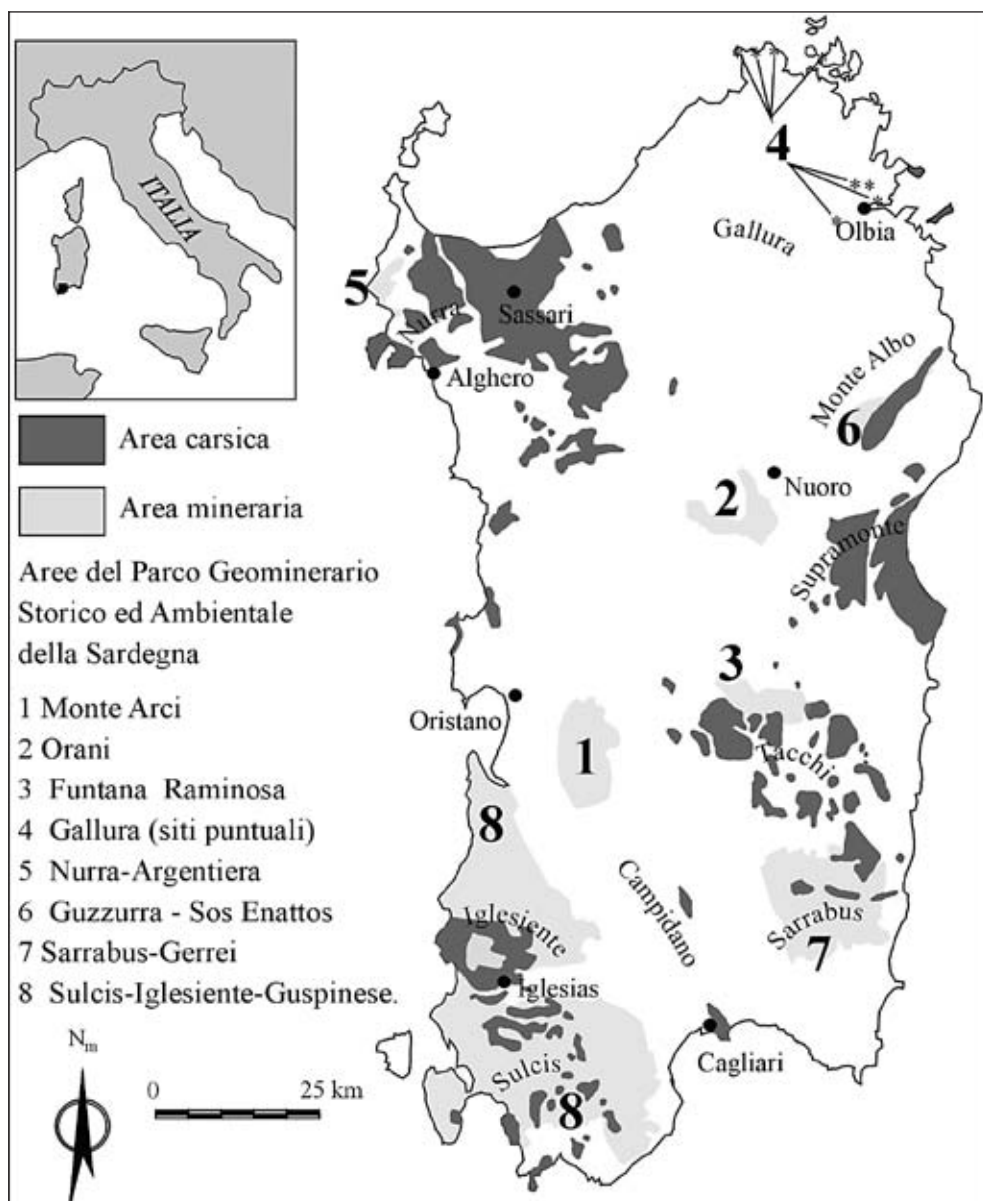


Fig. 5 – Aree carsiche e minerarie della Sardegna.

Un effetto contrario ha invece avuto la costruzione della diga di Pedra 'e Othoni, sul fiume Cedrino. Questa diga, costruita essenzialmente sui basalti Plio-Pleistocenici del Golfei poco a Nord del Supramonte carbonatico per fini irrigui, laminazione delle piene, industriali e civili, causa stagionalmente l'inondazione della piana alluvionale a monte, sommergendo alcune importanti sorgenti carsiche (San Pantaleo, Su Gologone) (BIANCO, 1993; DE WAELE, 2006). È questo uno dei rari esempi di impatto sulle aree carsiche dovuto

a grandi opere. Un altro caso è il tracciato della orientale sarda (SS 125) che collega Baunei a Dorgali. Qui il paesaggio delle strapiombanti pareti calcareo-dolomitiche del Supramonte di Baunei è disturbato dalle ingombranti opere in cemento armato. Un caso a parte è rappresentato dalla già citata grotta di San Giovanni a Domusnovas, il cui traforo naturale è interamente percorso, per una lunghezza di circa 800 metri, da una strada asfaltata percorribile in auto (anche se il transito veicolare è vietato ed impedito con transenne ormai da diversi anni). Tale opera, certamente impattante, ha tuttavia una importanza storica, in quanto la grotta da sempre ha costituito un accesso naturale che collega la pianura del Riu Cixerri a Sud con la boscosa vallata del Riu Sa Duchessa a Nord. In quest'ultima valle, infatti, a partire dalla metà del XIX secolo, furono aperte alcune importanti coltivazioni di Pb-Zn; il minerale estratto transitava proprio attraverso la grotta, in principio su carri trainati da asini, successivamente su mezzi motorizzati, con un notevole risparmio economico per le compagnie minerarie (cfr. fig. 6).



Fig. 6 – L'ingresso Sud della grotta di San Giovanni (Domusnovas, Iglesiente) con la strada asfaltata che la percorre per oltre 800 metri e, sulla sinistra dell'ingresso, le opere di presa della sorgente carsica.



Fig. 7 – Rifiuti all'interno della grotta di Su Rù (Usini) (Foto Stefano Pinna).



Fig. 8 – La captazione delle acque del sistema carsico di San Giovanni Su Anzu (Dorgali), sotto il Monte S'Ospile, ha determinato la chiusura di questa bellissima risorgente con una parete in muratura a sostegno di una cancellata. (Foto Giovanni Badino)

Un'altra pratica che ha avuto un impatto negativo sull'ambiente, diffusa in molte aree carsiche dell'Isola a partire dal 1700 e perdurata fino agli anni '50 del secolo scorso, è stata il taglio del legname che ha causato un incremento dell'erosione del suolo. I segni di queste attività sono ben visibili un po' ovunque con mulattiere, piazze dei carbonai ed antiche costruzioni che contribuiscono ad arricchire, malgrado tutto, il paesaggio culturale. A questa si deve aggiungere il verificarsi di incendi e il sovraccarico pastorale, che hanno ulteriormente contribuito a far ridurre o scomparire del tutto la copertura vegetale, con una conseguente accelerazione di preoccupanti fenomeni di erosione del suolo e conseguente desertificazione (VACCA *et al.*, 2000).

Un aspetto assai particolare della Sardegna è la presenza di servitù militari in aree carsiche, come a Capo Teulada e nel Salto di Quirra che, se da un lato hanno salvaguardato il carso dagli insediamenti e dalla sovralfrequentazione, dall'altro invece hanno lasciato rifiuti di varia natura, talvolta pericolosi non solo per l'ambiente ma anche per l'uomo.



Fig. 9 – Dolina di crollo nei pressi di Guardia su Merti (Iglesias), apertasi improvvisamente nell'ottobre del 1998 a poca distanza dal tracciato delle Ferrovie che collega la città di Iglesias a Cagliari.

In ultimo menzioniamo la pratica del turismo, in continua crescita, che ha avuto un ruolo importante nella destabilizzazione dell'equilibrio naturale in diverse aree carsiche ed in particolare nel Golfo di Orosei e a Capo Caccia, con la scomparsa di specie animali come la Foca monaca (*Monachus monachus*) (ARGANO, 1992). L'impatto del turismo in aree carsiche è particolarmente sentito nelle grotte aperte al pubblico, in particolare quelle massicciamente visitate soprattutto durante i mesi estivi, come le grotte del Bue Marino e Ispinigoli (Dorgali), di Nettuno (Alghero), di Is Zuddas (Santadi), di Su Mannau (Fluminimaggiore), di Santa Barbara (Iglesias), di San Giovanni (Domusnovas), di Su Marmuri (Ulassai) e di Is Janas (Sadali) (DE WAELE & GRAFITTI, 1998b), oltre che la grotta del Fico (Baunei), resa fruibile di recente. In molte di queste manca del tutto un controllo microclimatico e geoambientale che consentirebbe di stimare la capacità di carico di questi siti particolarmente sensibili.

Un'altra alterazione dell'ambiente carsico, da non trascurare, è quella legata all'escursionismo. Sulle cale (spiagge) del Golfo di Orosei, durante i mesi estivi, vengono scaricati da barconi migliaia di turisti al giorno. Tale massiccia frequentazione lascia evidenti segni di sofferenza nell'ambiente, come ad esempio nei famosi grottini e nel laghetto retrospiaggia di Cala Luna, causa la mancanza di adeguate strutture di accoglienza e di smaltimento dei rifiuti (ARISCI *et al.*, 2000).



Fig. 10 – La catasta di concrezioni negli ambienti iniziali della grotta di Elighes Artas (Oliena) è la testimonianza dello sterile vandalismo di alcuni frequentatori delle grotte. (Foto Laura Sanna)

<b>Causa d'impatto</b>	<b>Descrizione di alcuni esempi in Sardegna</b>	<b>Importanza in Sardegna</b>
Miniera	Molte miniere Pb-Zn, ormai inattive, nell'Iglesiente-Sulcis, alcune a N di Monte Albo, una di Fe e Bauxite a Calabona (Alghero)	0-3
Cava	Oltre che nell'Iglesiente e nel Sulcis, se ne trovano diverse nei calcari Miocenici in provincia di Cagliari, nelle dolomie Giurassiche dei Tacchi del Sarcidano e nei calcari Giurassici del Monte Albo, Monte Tuttavista e nella Nurra di Alghero.	1-2
Spietramento	In varie zone vicino agli abitati, soprattutto in Provincia di Sassari e su alcuni tacchi (Sadali)	1
Disboscamento	Operato indiscriminatamente soprattutto nei secoli scorsi (carbonai) in varie aree della Sardegna, e non solo in aree minerarie. Ora per fortuna avviene in modo più o meno controllato.	2
Pastorizia	Attualmente ancora pesante in alcune aree (Supramonte di Urzulei e Baunei), tuttavia molte aree carsiche ne risultano prive per la presenza di demani forestali e cantieri di rimboschimento.	3
Incendio	Alcuni grandi incendi del passato hanno recato grossi danni, ora per fortuna colpiscono soltanto sporadicamente aree carsiche. Resta tuttavia una minaccia da tenere sempre presente.	1-3
Pompeggio	Ha avuto un impatto notevole nelle aree minerarie, causando intrusioni di acque salmastre e subsidenze (Iglesiente-Sulcis). Attualmente il fenomeno è ancora importante per la trivellazione di pozzi per uso irriguo e civile (es. Cixerri, zona di Alghero), talvolta eseguite anche in grotta (Cuccuru Tiria, Guardia su Merti, ecc.) con evidente impatto negativo (fino al prosciugamento totale, es. Caput Aquas).	1-3
Opere di captazione	Molte sorgenti carsiche sono captate in modo inadeguato, con deturpazione dell'ambiente e del paesaggio immediatamente circostante (Frunco 'e Oche, Pubusinu, San Giovanni Su Anzu, San Giovanni Domusnovas, Su Gologone, Tamara e tante altre).	1-2
Viabilità	In genere la viabilità nelle aree carsiche è piuttosto limitata. Esempi sono la SS125 tra Baunei e Dorgali e vari assi stradali nell'Iglesiente e nel Sassarese. La galleria principale della grotta di San Giovanni a Domusnovas è percorsa per intero da una strada asfaltata (800 metri di lunghezza circa)	1-2
Urbanizzazione	In genere gli abitati sorgono in vicinanza delle aree carsiche: tuttavia ci sono esempi di città costruite su importanti zone carbonatiche come Sassari, Carbonia, Sadali ecc.	1
Scarichi civili	È un problema circoscritto a limitati episodi in villaggi piuttosto piccoli (es. Sadali)	1
Discariche controllate	Esistono piccole discariche comunali, in genere di materiali inerti, che possono essere collocate in cave e piccoli scavi abbandonati. Il problema esiste soprattutto nei villaggi minerari (es. Nuxis, Iglesias, Carbonia...) oppure in paesi costruiti su aree carsiche (es. Sassari, Sadali).	0-1
Discariche abusive	Ne esistono diverse, in genere di piccole dimensioni, in particolare nelle ex-aree minerarie. Spesso, tuttavia, i materiali abbandonati possono essere di grande pericolosità (es. batterie)	1-2



Industria	Per fortuna i grandi poli industriali (non minerari) sono spesso ubicati al di fuori delle aree carsiche, fatto eccezionale del polo di Porto Torres. Qui l'inquinamento industriale è notevole, anche se è in fase di avanzamento un progetto di riqualificazione ambientale.	0-1
Scarichi industriali	Immissioni di sostanze nocive negli acquiferi carsici sono avvenute in passato (es. polo petrolchimico di Porto Torres).	0-1
Discariche industriali	Esistono alcune discariche industriali ubicate in aree carsiche (es. Genna Luas). Tuttavia le misure di contenimento dell'inquinamento sembrano sufficientemente adeguate.	0-1
Grandi opere	Si possono citare alcune dighe che lambiscono aree carsiche (Isili, Pedra 'e Othoni) che possono creare dei problemi d'inquinamento durante le piene. La diga di Pedra 'e Othoni sul Cedrino allaga pressoché perennemente la grande sorgente di San Pantaleo.	0-1
Agricoltura	È un fattore importante soltanto nelle pianure della provincia di Sassari e, in misura più limitata, in alcune aree dei Tacchi e dell'Iglesiente. In genere, essendo poco intensiva, ha impatto piuttosto limitato.	0-1
Zootecnia	In alcune località (zone a monte del Supramonte di Urzulei) l'allevamento intensivo soprattutto di suini può causare l'inquinamento della falda per via di ricarica autogenica ma anche allogenica.	1
Fertilizzanti	In genere di limitata importanza.	0-1
Pesticidi	In genere di limitata importanza.	0-1
Militari	Molte aree militari sono situate in aree carsiche (Capo Teulada, Isola di Tavolara, Altopiano di Quirra, Alghero, Capo Sant'Elia). Se da un lato hanno salvaguardato queste aree dalla urbanizzazione selvaggia, dall'altro ne hanno causato una modificazione talvolta importante.	2
Edilizia turistico-residenziale	Ha interessato alcune aree carsiche costiere in particolare (es. Cala Gonone, Alghero) risparmiando per fortuna, almeno parzialmente, le zone meno accessibili (il Golfo di Orosei, Capo Caccia).	1-2
Escursionismo	Sempre più effettuato in aree di importanza naturalistica, come il Supramonte ed il Golfo di Orosei, con segnalazione di sentieri, attrezzamento di vie d'arrampicata e d'alpinismo.	1
Grotte turistiche	Grotte turistiche spesso non monitorate e prive di comitati scientifici.	1
Frequentazione incontrollata delle grotte	Visite sporadiche e/o frequenti per scopi escursionistici o collezionistici con evidenti segni di danneggiamento (scritte sulle pareti, scavi clandestini, taglio di speleotemi e minerali di grotta, inquinamento, ...). Assume notevole importanza nell'area mineraria dell'Sulcis-Iglesiente. Sono conosciuti tuttavia anche casi in Golfo di Orosei e nei Tacchi d'Ogliastra.	1-2
Speleologia	Elevata frequentazione di alcune grotte per scopi didattici e sportivi, con conseguenti problemi di inquinamento (carburante, pile esauste, ...) e rottura accidentale di speleotemi.	1

Tab. 3 – Situazione dell'impatto umano sulle aree carsiche in Sardegna e la loro importanza (0: nessuna, 1: bassa, 2: media, 3: elevata).

Maggiormente diffuso, invece, risulta l'impatto dell'escursionismo più naturalistico, con l'apertura e la segnalazione di sentieri, di vie d'arrampicata e la visita delle grotte. Tali impatti, che tuttavia non sono da sottovalutare, possono essere mitigati attraverso una buona educazione ambientale, ma in molti casi non basta ad evitare danni e deturpamenti. In passato si sono segnalati molti casi di danneggiamento ad opera dei "tagliatori" di concrezioni che poi vendevano le stalattiti, i cristalli e le eccentriche ad amici e parenti oppure sul mercato dei collezionisti di minerali (FORTI & PERNA, 1982; CHESSA & DE WAELE, 1997) (fig. 10). Altri prelievi indiscriminati avvengono ai danni della fauna specializzata: la Sardegna, infatti, è ricca di molte specie endemiche richieste dai Musei di tutto il mondo, e questo ha innescato un mercato clandestino e dannoso, più volte denunciato (GRUPPO SPELEOLOGICO SASSARESE, 1976; GRAFITTI, 1999).

Nella tabella 3 si riassume la situazione dell'impatto umano sulle aree carsiche in Sardegna.

Da questo quadro conoscitivo appare quindi chiara l'interazione negativa delle attività antropiche sugli ambienti carsici della Sardegna e la necessità di una normativa in grado di tutelare queste zone di alto interesse scientifico e di grande importanza per l'uomo per le sue risorse ambientali ed idrogeologiche.

## Conclusioni

Dall'analisi dei caratteri e degli effetti delle attività antropiche sulle aree carsiche della Sardegna riportata sopra risulta evidente l'importanza di questi geo-ecosistemi per l'uomo moderno, il quale deve cercare di utilizzarne le risorse nel miglior modo possibile. Basti pensare che oggi più del 30% delle acque potabili in Italia provengono da acquiferi in rocce carbonatiche, quantità destinata ad aumentare di molto nei prossimi 20 anni. Il paesaggio carsico, inoltre, è un forte elemento di attrazione ambientale, in grado di richiamare migliaia di turisti ogni fine settimana. Un'errata pianificazione dell'utilizzo di queste ricchezze può compromettere in modo anche irreversibile la loro integrità.

In Sardegna, come in molte regioni d'Italia, questi siti ad alta valenza naturalistica sono minacciati da numerose attività umane, come l'estrazione di minerali, la deforestazione, gli incendi, le attività pastorali, l'espansione degli agglomerati urbani, il depauperamento degli acquiferi, l'inquinamento della falda, la discarica di materiali più o meno pericolosi, le servitù militari e le attività escursionistiche e speleologiche. Al contrario, l'industria, la costruzione di grandi infrastrutture quali dighe, ferrovie e autostrade, l'agricoltura e la zootecnia, che assumono talvolta grande rilevanza in altri paesi del Mediterraneo, risultano avere un impatto minore sul territorio carsico dell'Isola.

La salvaguardia delle aree carsiche, attraverso l'inevitabile definizione di vincoli e divieti, deve tuttavia consentire la fruizione dei beni ambientali, senza precludere le attività, come quelle agro-pastorali, che si sono praticate per secoli in sintonia con l'ambiente.

A livello normativo la legislazione italiana e regionale si è dimostrata carente o addirittura inesistente, con scarse disposizioni di carattere generale e non adatte nello specifico all'ambiente carsico, estremamente peculiare e complesso.

Nonostante per quasi ogni opera sia ormai necessaria la redazione del documento di Valutazione dell'Impatto Ambientale (V.I.A.), a causa della complessità di questi ecosistemi il loro studio risulta estremamente laborioso e coinvolge esperti di vari settori scientifici. Per poter stimare l'impatto ed il rischio dell'attività antropica nelle aree carsiche e definire la vulnerabilità di questi ambienti è necessario allargarne le conoscenze, oggi ancora troppo lacunose ed inadeguate a scala nazionale, e in particolare in Sardegna.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è frutto di oltre 15 anni di attività speleologica e scientifica in molte aree carsiche della Sardegna, svolta con l'aiuto di moltissimi speleologi, soprattutto sardi, senza i quali non si sarebbe potuto realizzare. Un grazie in particolare alle persone che mi hanno fornito documentazione fotografica: Giovanni Badino, Vittorio Crobu, Riccardo De Luca, Mauro Mucedda, Gabriela Pani, Stefano Pinna, Laura Sanna e Mauro Villani.

L'autore è inoltre grato a Mario Parise e Laura Sanna per i loro utili suggerimenti su una prima bozza del lavoro.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1989 - *Problemi di inquinamento e salvaguardia delle aree carsiche*. Nuova Editrice Apulia, Martina Franca (Ba), 141 pp.
- AA.VV., 2000 - *Le voragini catastrofiche: un nuovo problema per la Toscana*. Regione Toscana Giunta Regionale, Grosseto, 256 pp.
- AA.VV., 2004 - *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT). Dipartimento Difesa del Suolo, Roma, 709 pp.
- ARDAU F., BALIA R., BIANCO M., DE WAELE J., 2006 - *Assessment of cover-collapse sinkholes in southwest Sardinia (Italy)*. In (eds. PARISE M., GUNN J.) - *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society of London, Special Publication, 279: 47-57.
- ARGANO R., 1992 - *Tartarughe marine e foca monaca nei mari italiani: salvaguardia e prospettive*. Bollettino Museo e Istituto Biologia Università Genova, 56-57: 113-135.
- ARISCI A., DE WAELE J., DI GREGORIO F., 2000 - *Natural and Scientific Valence of the Gulf of Orosei Coast (Central-East Sardinia) and its Carrying Capacity with Particular Regard to the Pocket-Beaches*. Periodicum Biologorum, 102(suppl.1): 595-603.
- ARU A., MADEDDU B., KAHNAMEI A., 1994 - *Soil contamination by heavy metals from mines*. Land use and Soil degradation MEDALUS in Sardinia, Sassari: 265-283.
- ARU A., MELIS R. T., ULZEGA A., 1982 - *Alcune considerazioni sulla utilizzazione delle aree carsiche della Sardegna*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 27(2): 559-565.
- BALIA R., GAUAUDO E., GHIGLIERI G., 2001 - *Geophysical survey of a karst area - a case study from Sardinia, Italy*. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 6: 167-180.
- BANI M., 2001 - *La vita nelle grotte*. Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, 10: 1-27.
- BIANCO L., 1993 - *S.O.S. Su Gologone*. Sardegna Speleologica, 4: 19-25.
- BIANCO L., DE WAELE J., 1992 - *La sorgente di Caput Acquas*. Sardegna Speleologica, 2: 24-25.
- BURRI E., 1989 - *L'impatto antropico nell'area di S. Ninfa (Trapani)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II (3): 191-199.
- BURRI E., 1994 - *Utilizzazione del territorio ed impatto antropico nell'area limitrofa l'abitato di Pietrasecca (Italia centrale)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II (5): 165-169.
- BURRI E., CASTIGLIONI B., SAURO U., 1999 - *Agriculture, landscape and human impact in some karst areas of Italy*. International Journal of Speleology, 26(1-4): 33-54.
- CHESSA L., DE WAELE J., 1997 - *Seguendo le tracce dei tagliatori*. Speleologia, 36: 25-36.

- CHIESI M., FERRINI G., BADINO G., 2006 - *L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta*. Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, 5: 1-18.
- CIDU R., 2005 - *Evoluzione della qualità delle acque nelle miniere dell'Iglesiente*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II, 17: 149-154.
- CIDU R., BIDDAU R., SPANO T., 2005 - *Temporal variations in water chemistry at abandoned underground mines hosted in a carbonate environment*. Mine Water and the Environment, 24(2): 77-87.
- CUCCHI F., 1990 - *Preliminary map of the impact of man on karstic environments in Italy*. Istituto di Geografia e Oceanografia dell'Università di Messina.
- DE WAELE J., 1999 - *Censimento delle cavità con rischi ambientali in Sardegna*. Sardegna Speleologica, 15: 15-16.
- DE WAELE J., 2003a - *I paesaggi carsici in Sardegna: tipologia, valenza e vulnerabilità*. Atti del XIX Congresso Nazionale di Speleologia, Bologna: 97-104.
- DE WAELE J., 2003b - *Inventario delle aree carsiche della Sardegna*. Atti del XIX Congresso Nazionale di Speleologia, Bologna: 87-96.
- DE WAELE J., 2006 - *Interaction between a dam site and karst springs: the case of Supramonte (Central-East Sardinia, Italy)*. Geophysical Research Abstracts, 8, EGU06-A-01331.
- DE WAELE J., DI GREGORIO F., PIRAS G., 1998 - *I siti carsici nel parco geominerario dell'Iglesiente-Sulcis: proposta di uno sviluppo turistico sostenibile*. Atti del 18° Convegno Nazionale di Speleologia, Chiusa Pesio: 51-56.
- DE WAELE J., DI GREGORIO F., PIRAS G., 1999 - *The twenty most important karstic geosites of Sardinia. Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*, Madrid: 155-161.
- DE WAELE J., FRAU F., 2001 - *Some examples of karst phenomena in the Sulcis region*. Rendiconti del Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari, 71(2): 125-148.
- DE WAELE J., GRAFITTI G., 1998a - *Proposta di partizione della Sardegna in gruppi oro-geografici per la creazione del Catasto Regionale delle Aree Carsiche*. Atti del 18° Convegno Nazionale di Speleologia, Chiusa Pesio: 241-248.
- DE WAELE J., GRAFITTI G., 1998b - *Show caves in Sardinia: geologic and biologic aspects*. Proceedings III° Congress ISCA: Show Caves: where, how, why, Santadi: 77-91.
- DE WAELE J., MURGIA F., 2001 - *Le sorgenti e gli acquiferi carsici profondi della Sardegna*. IV European Seminar on Geography of Water, Conflicts on water use in the Mediterranean Area, Cagliari: 131-136.
- DE WAELE J., NASEDDU A., 2005 - *Le grotte di miniera: tra economia mineraria ed economia turistica*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia. II 17: 200 pp.
- DE WAELE J., NIEDDU A., 2005 - *Strategie tradizionali per l'approvvigionamento idrico in un'area carsica mediterranea: il caso del Supramonte costiero (Sardegna)*. Grotte e Dintorni, 10: 9-28.
- DE WAELE J., PISANO M., 1998 - *Interazione fra attività mineraria ed un acquifero carsico: l'esempio di Baraxiutta (Sardegna sud-occidentale)*. Convegno Nazionale sull'Inquinamento delle Grotte e degli Acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività, Ponte di Brenta: 195-209.
- DELLE ROSE M., FIDELIBUS C., INTERNÒ G., PARISE M., 2003 - *The experience of southern Apulia (Italy) coastal karst aquifer: Indications for the management*. In: Beriatos E., Brebbia C.A., Coccossis H., Kungolos A. (eds.). *Sustainable planning and development*. Proceedings of the I<sup>st</sup> Conference, 1-3 October 2003, Skiathos (Greece), WIT Press: 453-461.
- DRYSDALE R., PIEROTTI L., PICCINI L., BALDACCI F., 2001 - *Suspended sediments in karst spring waters near Massa (Tuscany), Italy*. Environmental Geology, 40: 1037-1050.

- FORTI P., 2002 - *Gli acquiferi carsici: problematiche per il loro studio ed utilizzo*. Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo, Forno di Massa: 7-22.
- FORTI P., PERNA G., 1982 - *Le cavità naturali dell'Iglesiente*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II (1): 229.
- FORTI P., PERNA G., BURRI E., 1988 - *Note illustrative della carta dell'impatto dell'uomo sul Karst della Sardegna*. Bollettino della Associazione italiana di Cartografia, 72-74: 421-427.
- GAMS I., NICOD J., JULIAN M., ANTONY E., SAURO U., 1993 - *Environmental change and human impacts on the Mediterranean karsts of France, Italy and the Dinaric region*. Catena supplement, 25: 59-98.
- GILI R. R., PEANO G., 2003 - *L'ambiente carsico e l'uomo*, Grotta di Bossea (Cn), 477 pp.
- GRAFITTI G., 1999 - *La fauna cavernicola della Sardegna. Un patrimonio da salvare*. Anthò, 3: 33-39.
- GROSSO B., MANCA P. P., PUSCEDDU D., SARRITZU R., 2005 - *Analisi e misure di controllo dell'instabilità nel cantiere di Acquaresi*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, II (17): 161-172.
- GRUPPO SPELEOLOGICO SASSARESE, 1976 - *Danni al patrimonio speleo-biologico sardo*. Speleologia Emiliana, 13 (3-4), 8.
- HARRES H. P., HOELLWARTH M., SEUFFERT O., 1987 - *Altlasten besonderer Art; Erzgewinnung in Sardinien und Schwermetallbelastung; eine Untersuchung am Beispiel des Riu sa Duchessa*. Geoökodynamik, 8(1): 1-48.
- JONES W. K., CULVER D. C., HERMAN J. S., 2003 - *Proceedings of the 2003 Epikarst Symposium*. Karst Water Institute, Charles Town, 160 pp.
- LAUREANO P., 2001 - *Atlante d'Acqua*. Bollati Boringhieri, Torino, 424 pp.
- PARISE M., PASCALI V., 2003 - *Surface and subsurface degradation in the karst of Apulia (southern Italy)*. Environmental Geology, 44: 247-256.
- SAURO U., 1993 - *Human impact on the karst of the Venetian Fore-Alps, Italy*. Environmental Geology, 21: 115-121.
- SAURO U., BONDESAN A., MENEGHEL M., 1991 - *Proceedings of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas I.C.E.C.K.A.* Università di Padova, Padova, 414 pp.
- SONDAAR P. Y., ELBURG R., KLEIN HOFMEIJER G., MARTINI F., SANGES M., SPAAN A., DE VISSER J. A., 1995 - *The human colonization of Sardinia: a late-Pleistocene human fossil from Corbeddu cave*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 320: 145-150.
- SORO P., CROBU V., 1999 - *S.O.S. Natura*. Sardegna Speleologica, 15: 11-14.
- VACCA A., LODDO S., OLLESCH G., PUDDU R., SERRA G., TOMASI D., ARU A., 2000 - *Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia, Italy*. Catena, 40: 69-92.
- VIGNA B., 2002 - *Monitoraggio e valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi carsici*. Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo, Forno di Massa: 23-35.
- VIGNA B., CALANDRI G., 2001 - *Gli acquiferi carsici*. Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, 12: 1-48.
- VILLANI M., 2005 - *Sinkhole e degrado ambientale. La grotta della miniera dell'acqua (Carbonia, Sardegna SW)*. Sardegna Speleologica, 21: 61-67.