

Sviluppo del carsismo nella Sierra di San Vicente, Viñales, Cuba

Hermes Farfan Gonzalez ¹, Carlos Diaz Guanche ²

¹ Escuela Nacional de Espeleologia "Dr. Antonio Nunez Jimenez".

² Facultad de Geologia y Mecanica, D.pto de Geologia. Universidad de Pinar del Rio.

"qualunque azione venga intrapresa su un sistema naturale, presuppone la conoscenza del suo comportamento, al fine di prevedere adeguatamente le sue conseguenze"
(Molerio, 1982)

Riassunto

Nella parte centro-settentrionale della sub-regione della Sierra de los Organos, nell'estremo settore occidentale dell'isola di Cuba, si trova il massiccio calcareo della Sierra di San Vicente, al cui interno si sviluppa il sistema sotterraneo omonimo, costituito a sua volta dai sistemi carsici dei torrenti Los Gonzalez e El Jovero. Da alcuni anni sono stati intrapresi su questo massiccio ricerche di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico, per la comprensione della sua dinamica e per fornire elementi al fine dell'individuazione del migliore e più razionale sistema di gestione delle risorse naturali. Gli studi hanno permesso, fino a questo punto, di conoscere le condizioni che hanno dato origine a ciascuna delle forme superficiali e sotterranee, così come alcuni aspetti della configurazione idrologica dell'area. Il fattore geologico rappresenta l'elemento più importante che ha consentito lo sviluppo e la configurazione morfo- e idrogeologica del massiccio. Ciascuna delle forme descritte si associa a unità lito-stratigrafiche, o al contatto tra queste, dove ogni elemento mostra una elevata influenza strutturale nel suo sviluppo spaziale e morfologico. Idrologicamente, la regione è fortemente condizionata dal diverso comportamento delle unità acquifere descritte. La ricarica alloctona è la più importante, anche se esistono pure importanti flussi autoctoni. Alcune forme di emissione di recente ritrovate non sono associate idraulicamente, il che si apprezza dalla diminuzione dei valori idrologici medi nelle varie campagne di misura eseguite; ciò può derivare da perdite per flusso laterale attraverso condotti carsici minori.

Parole chiave: carsismo, carso tropicale, Cuba.

Abstract - KARST DEVELOPMENT IN THE SIERRA DE SAN VICENTE, VIÑALES, CUBA.

The calcareous massif of Sierra de San Vicente is located in the central-southern part of the Sierra de los Organos sub-region. It includes the San Vicente subterranean system, that is in turn formed by the karst systems of Los Gonzalez and El Jovero. Several geological, morphological, and hydrogeological researches have been started since some years in this area, aimed at a better comprehension of its dynamics, and at providing insights for a rational management of the natural resources. The studies so far carried out allowed to identify the conditions leading to the many surficial and underground forms, and some aspects of the hydrology in the area. Geology is undoubtedly the most important factor for the

development and the overall configuration of the massif. Each of the different landforms, in fact, is associated to a specific stratigraphic unit or at the contact among units, often with a strong structural control. As regards the hydrology, the regions are strongly conditioned by the different behaviour of the hydrogeological units. The alloctonous recharge is the most significant, even though important autoctonous flow are also present.

Key words: karst, tropical karst, Cuba.

Introduzione

La conoscenza integrale della evoluzione di qualunque territorio è un elemento molto utile per comprenderne la dinamica e, pertanto, uno strumento indispensabile per l'uso razionale delle sue risorse. Nel caso dei territori carsici, tale conoscenza si complica a causa della complessità idrogeologica e della natura policiclica e poligenetica della sua evoluzione. A Cuba, più del 65% del territorio è carsico, e l'80 % delle risorse di acqua ad oggi utilizzata è di natura carsica. Se a ciò si aggiunge che quasi tutta l'attività socio-economica e le riserve di idrocarburi sono associate a territori carsici, la loro importanza risulta ancora più evidente. La Sierra de los Organos è il sistema montuoso più occidentale di Cuba, ed è conosciuta a livello internazionale come uno dei più spettacolari esempi del carsismo tropicale. I suoi rilievi conici e a torre, sviluppatasi su strutture geologiche completamente dislocate da eventi geologici che ne hanno determinato i caratteri tettonici alpini complessi, e la presenza di una zona a topografia articolata, con le *Alturas Pizarrosas*, le conferiscono caratteri unici nei quali si ritrovano sviluppati i ben noti polje marginali come la Valle di Viñales.

Nella parte centro-settentrionale della sub-regione Sierra de Los Órganos si trova il massiccio calcareo della Sierra di San Vicente, dove si è sviluppato il sistema sotterraneo di San Vicente, costituito dagli apparati carsici dei torrenti Los González e El Jovero. La Sierra di San Vicente e le aree adiacenti formano parte della *Unità Morfotettonica Guaniguanico dei Massicci Continentali Meridionali* (Díaz, 1986). Il rilievo è classificato come di montagne basse carso-denudate del tipo strutturalmente-carsificate (Nuñez Jimenez, 1984), nelle quali si evidenziano come forme orografiche particolari i *mogotes* nelle catene *mogóticas*, polje e doline (sia marginali o di contatto che interni), estesi campi di lapiez di dimensione e morfologia variabile. Tutto questo paesaggio carsico è denominato *carso conico in rilievi complessi a pieghe e faglie, costituito da serie di strati potenti di rocce carbonatiche e non carbonatiche* (Nuñez et al., 1968), mostrando uno sviluppo caratteristico di un carso tropicale residuale in rocce calcaree giurassico-cretacee.

Da circa un anno, su di esso si stanno svolgendo una serie di lavori geologico-geomorfologici con l'obiettivo di studiare i fattori di controllo dello sviluppo spaziale e morfologico del sistema carsico con la struttura geologica e la sua evoluzione geomorfologica. Per conoscere nella maniera più completa possibile il suo sviluppo, recentemente si sono avviati anche alcuni studi finalizzati alla comprensione della dinamica idrologica del sistema.

Gli studi geologici sono stati fatti sulla base di modelli geologici basati sulla Nuova Tettonica Globale che spiegano in maniera coerente la evoluzione geologica del territorio. Essenzialmente è stato adottato lo schema di evoluzione stratigrafica del sistema Giurassico della zona elaborato da Cobiella (1996), così come quello di Martínez (1994) per il resto delle sequenze cretacee e paleogeniche. Per il sistema Quaternario sono stati utilizzati gli schemi di vari studiosi (Cabrera, 1998; Denis, 1998; Dzulynski et al., 1984), tutti molto simili. Per l'evoluzione strutturale del massiccio ci si è basati sui lavori di Piotrowska (in Pszczolkowski, 1987), Martínez (1994), Gordon et al. (1997) e Cáceres (1998) che evidenziano la complessità tettonica dei massicci carsici e la sovrapposizione di varie fasi di deformazione. Gli studi idrogeologici sono stati basati sullo studio delle condizioni, sia idrologiche che idrogeologiche, che condizionarono lo sviluppo superficiale e sotterraneo della rete di dre-

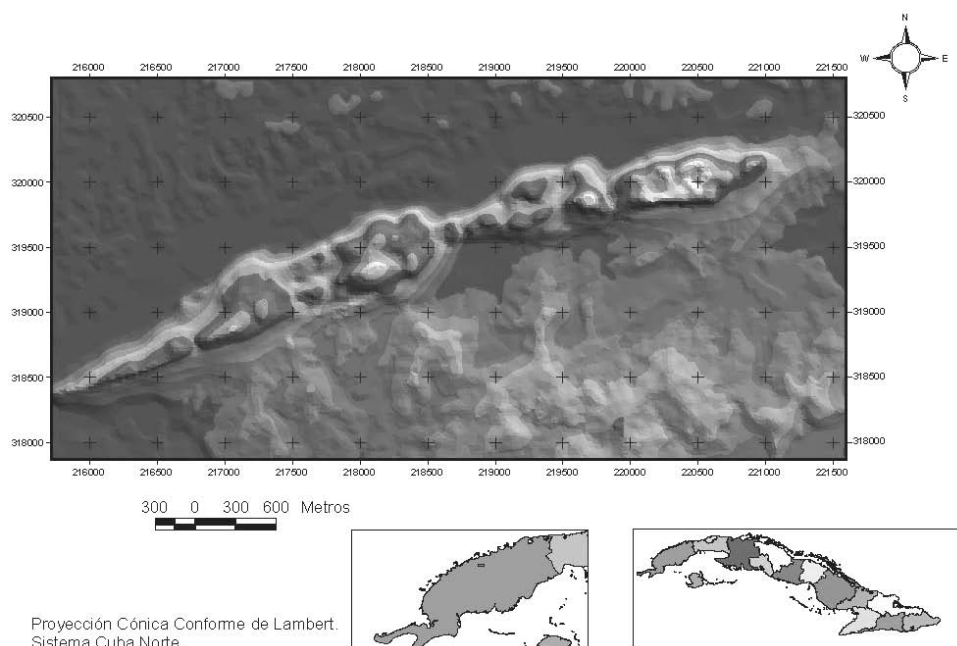


Fig. 1 - Carta di ubicazione della Sierra di San Vicente.
 Fig. 1 - Location map of the Sierra de San Vicente.

naggio del territorio, ponendo una speciale enfasi alle particolarità idrogeologiche delle formazioni acquifere presenti, e alle condizioni di assorbimento-transito-emissione, come elemento principale per la comprensione dello sviluppo delle forme del rilievo e la organizzazione del drenaggio del territorio, in prima approssimazione. Le topografie di entrambi i sistemi carsici sono state realizzate nel corso di campagne speleologiche con gruppi appartenenti alla SSI (Società Speleologica Italiana) negli anni 1998-2003.

Assetto geologico

L'assetto stratigrafico della regione è costituito da tre formazioni rocciose ben differenziate che abbracciano un arco temporale dal Giurassico all'Eocene: una terrigena alla base; una carbonatica e un'altra terrigena con carattere olistostromico. I depositi più antichi corrispondono a un complesso di delta giurassico, rappresentato da materiali terrigeni costituiti da intercalazioni di arenarie, lutiti, argille grigie e scisti e argilliti raggruppati nella Formazione San Cayetano, di età dal Giurassico Inferiore al Giurassico Superiore (Oxfordiano Medio). A partire da questo periodo, la sedimentazione diviene carbonatica, e si iniziano a depositare i sedimenti di acque superficiali fino a neritico profonde della Formazione Jagua dell'Oxfordiano Medio-Superiore rappresentata da calcari micritici, scisti argilloso-marnosi e calcilutiti che sono in concordanza sui depositi terrigeni della Formazione San Cayetano. I sedimenti di questa formazione, ad eccezione del membro Zacarías, rappresentano i depositi di una rampa carbonatica (Cobiella, 1996).

In concordanza al di sopra di questi depositi, si rinvencono i calcari massicci o a strati molto spessi, estremamente carsificati del Membro San Vicente della Formazione Guasasa, sviluppatasi come un banco carbonatico nell'Oxfordiano Superiore e nel Titoniano Inferiore. In questa unità carbonatica sono state descritte varie facies: tra le altre, micriti con coproliti,

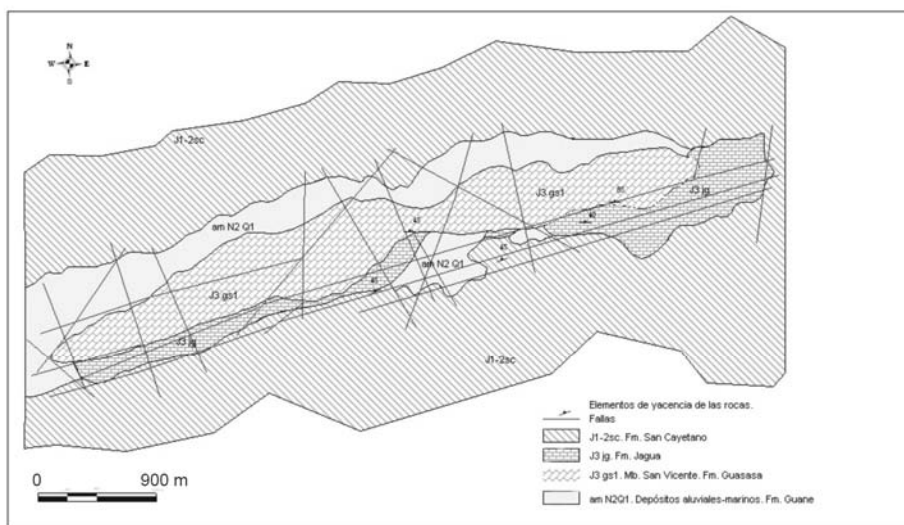


Fig. 2 - Carta geologica della Sierra di San Vicente, Viñales, Cuba.
Fig. 2 - Geological map of the Sierra de San Vicente, Viñales, Cuba.

pelspariti, biospariti, calcari oolitici, con predominanza delle varietà micritiche verso la parte bassa della unità e di quelle calcarenitiche nella parte superiore, considerata un deposito di piattaforma carbonatica (Cobiella, 1996). Questo membro fu descritto per la prima volta da Herrera nel 1961 e presenta uno spessore di 650 m. Tutte queste rocce furono messe in posto mediante trasporto tettonico a vergenza NW.

A partire dall'Eocene Medio il territorio emerge fino al Pliocene, intervallo durante il quale cominciano a svilupparsi le forme carsiche più antiche della zona. Verso il Pliocene Superiore comincia una trasgressione marina e prende origine una pianura alluvionale - marina dove si depositarono i sedimenti terrigeni del Membro Ensenada Grande della Formazione Guane, costituito da sedimenti alluvionali, eluviali e carsici. Questo regime di sedimentazione si mantenne fino al Pleistocene Superiore, in un probabile ambiente fluvio-lagunare. Altri sedimenti alluvionali, eluviali e carsici recenti chiudono definitivamente la serie stratigrafica della regione.

Assetto tettonico

La tettonica è l'elemento più importante nello sviluppo delle forme superficiali e sotterranee nella Sierra di San Vicente. Il controllo tettonico è talmente forte nello sviluppo spaziale, morfologico e morfometrico, sia delle reti delle cavità ipogee, che del resto delle forme carsiche epigee, che durante la sua evoluzione geologico-geomorfologica ha dato origine a un paesaggio carsico molto particolare.

L'analisi degli allineamenti tettonici mostra tre famiglie o sistemi: I - (N50°-70°E, 50°-70° di azimut), II - (N20°-30°W, 330°-340° di azimut), III - (N20°-30°E, 20°-30° di azimut).

Le direzioni principali di carsificazione per i livelli fossili dell'apparato carsico dell'Arroyo di Los González si dividono in quattro sistemi o famiglie: I - (N0°-10°E); II - (N30°-50°E), III - (N10°-50°W); IV - (N70°-90°W). Nella sua parte attiva sono state invece identificati tre sistemi o famiglie principali nello sviluppo della carsificazione: I - (N0°-10°E), II - (N50°-60°W), III - (N20°-40°W). L'apparato carsico dell'Arroyo El Jovero nella sua parte fossile mostra due sistemi principali nella direzione delle sue gallerie: I - (N0°-10°E) e II - (N10°E-N30°W),

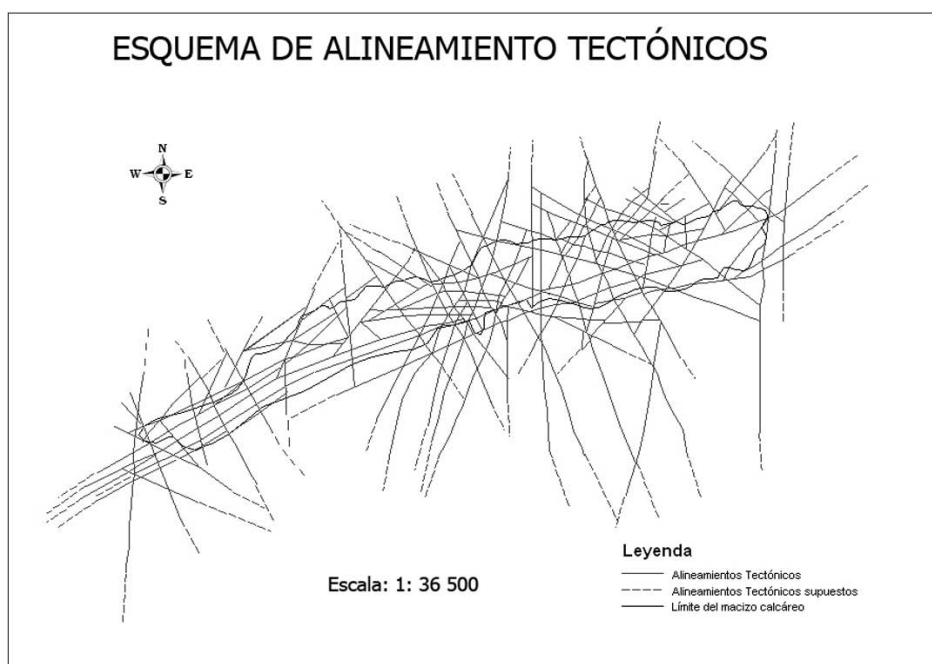


Fig. 3 - Schema dei lineamenti tettonici della Sierra di San Vicente, Viñales, Cuba.
 Fig. 3 - Tectonic lineaments in the Sierra de San Vicente, Viñales, Cuba.

quelle di maggiore lunghezza e frequenza di questo sistema carsico. Per quanto riguarda il livello attivo, sono state individuate quattro direzioni principali: I - (N10°E-N30°W), II - (N20°-40°E); III - (N60°-80°E), IV - (N60°-90°W).

Il sistema carsico dell'Arroyo de Los González nel suo livello attivo presenta la maggiore coincidenza con le strutture tettoniche nell'intervallo N20°-60°W (300°-340° di azimut). È precisamente in questo intervallo che sono presenti le gallerie di maggiore lunghezza, associate agli allineamenti tettonici del Sistema II. In questo livello non vi sono grandi gallerie sviluppate verso NE e verso ENE a causa dell'assenza di grandi fratture orientate in queste direzioni verso l'interno del massiccio. I livelli fossili di questo stesso sistema presentano corrispondenza tra le variabili tettoniche e carsiche negli intervalli N20°-50°W (310°-340° di azimut) e N20°-60°E (20°-60° di azimut). In questi livelli inattivi, le gallerie sviluppatasi verso N e NNE presentano il maggiore sviluppo lineare, anche vincolato a lineazioni tettoniche del sistema II e a strutture simili.

Nel sistema carsico dell'Arroyo El Jovero si apprezza una situazione differente, dato che i livelli fossili presentano direzioni preferenziali di sviluppo spaziale delle gallerie verso NNE, tra N30°W e N10°E (330°-10° di azimut), mentre quelli attivi presentano gallerie sviluppate in varie direzioni, e tutte le direzioni principali mostrano coincidenza quasi perfetta con la struttura tettonica del massiccio. In entrambi i sistemi, tanto per i livelli fossili che per quelli attivi, le gallerie con maggiore sviluppo lineare sono orientate a N e a NNE, che è precisamente la direzione di massima coincidenza tra gli elementi tettonici e carsici del massiccio; ciò può essere legato alla sovrapposizione di due sistemi differenti, con componente NE, a seguito della rotazione in senso orario del massimo stress compressivo dal Paleocene superiore alla parte bassa dell'Eocene inferiore (sovrascorrimenti) e alla parte alta dell'Eocene inferiore (emergenza della faglia Pinar). I lineamenti tettonici orientati NNE presentano, inoltre, la maggiore lunghezza media. Questa coincidenza di lunghezza e orientazione spa-

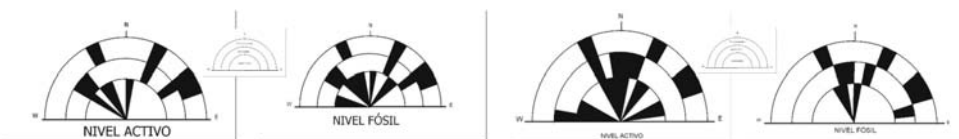


Fig. 4 - Relazioni tra lineamenti tettonici -fratturazione - carsificazione. Sistema carsico Arroyo Los Gonzalez (a sinistra) e sistema carsico Arroyo El Jovero (a destra).

Fig. 4 - Relationships between tectonic lineaments -joints karstification. Karst system Arroyo Los Gonzalez (left) and karst system Arroyo El Jovero (right).

ziale di ciascuno di questi elementi evidenzia il controllo tettonico nella evoluzione spaziale del carsismo nella Sierra di San Vicente.

Assetto geomorfologico

Una sezione trasversale in un massiccio della fascia a *mogotes* presenta sulle pareti meridionali un primo tratto con pendii fortemente acclivi, tra 30° e 50° di pendenza, alla base dei *mogotes*, e, nella parte alta di questi, una parete verticale, talora con pendenze più basse in sommità. Sulle pareti a nord, invece, la parte verticale comincia direttamente dal livello della valle adiacente.

A sud c'è la parte inferiore della scaglia tettonica nella quale affiorano i calcari stratificati e le lutiti della Formazione Jagua che costituiscono il piedimonte, e a nord, nella parte superiore della scaglia, affiorano i calcari massivi del Membro San Vicente della Formazione Guasasa, più resistenti alla erosione. I *mogotes* sono costituiti da calcari giurassici molto duri e resistenti alla erosione, a contatto con rocce terrigene più suscettibili ai processi erosivi, e di conseguenza si formano le valli di contatto (polje marginali e fluvio-carsici) che circondano i *mogotes* calcarei.

Le valli carsiche occupano un ruolo importante nel modello carsico della Sierra di San Vicente e si sviluppano sempre in associazione con faglie a direzione NNW-SSE e NNE-SSW (Ramos, 1997; Diaz, 1999). All'interno delle valli carsiche e alla intersezione di due o più faglie o grandi fratture, si sviluppano doline a sezione prevalentemente ellittica, con asse maggiore allungato secondo la direzione della valle che la contiene. La maggior parte di queste sono originate da processi di dissoluzione, ma ve ne sono alcune molto piccole derivanti da collassi.

Nel versante assorbente (sud), si sviluppano i polje marginali di El Jovero e Los González. Si tratta di valli molto giovani, di limitata estensione e di forte erosione verticale con rotture di pendenza (rapide, salti e cascate) e scarsa erosione orizzontale, originando coni di deiezione al fondo. La differenza di quota è molto marcata: tra lo spartiacque generale e il fondo del polje vi sono più di 100 m in media. Si sono sviluppati a partire da una struttura regionale a direzione ENE, al contatto tra le *Alturas de Pizarras* del Nord e i calcari della Sierra di San Vicente. I loro assi hanno direzione generale EW e presentano forma lobata. Sono separati da un piccolo spartiacque costituito da un prolungamento delle *Alturas de Pizarras*. La valle fluvio-carsica di Las Cuevitas si sviluppa nel versante emittente (nord) e ha forma allargata, con l'asse maggiore orientato a ENE, direzione anche del corso del fiume e della struttura regionale che lo origina. Presenta uno stadio più avanzato di sviluppo, ma anche predomina la erosione verticale su quella orizzontale, formata al contatto tra le *Alturas de Pizarras* del Nord e la Sierra di San Vicente. Le sue quote oscillano tra i 100 m di quota massima ed i 30 m di quota minima. Verso la sua parte centrale presenta una zona bassa, di impantanamento che coincide con il blocco centrale collassato del massiccio e con la zona di risorgenza delle acque del Sistema di Arroyo El Jovero. Più a E, le acque del Sistema dell'Arroyo Los González si infiltrano nel sottosuolo. In realtà, esso fornisce eventuali apporti alle acque sotterranee del massiccio, in occasione dei principali eventi meteorologi-

ci. Il lapiez (karren) è la forma carsica epigea più sviluppata, diffuso su tutte le rocce carbonatiche della zona, dove predominano i campi di lapiez sviluppatisi in forma di carso nudo, principalmente nella zona centrale dove affiorano le rocce del Membro San Vicente della Formazione Guasasa (Molerio, 1981). Carso parzialmente coperto si riscontra anche sulle rocce della Formazione Jagua e, in parte, della Formazione Guasasa. Per quanto riguarda le forme di dettaglio dei lapiez sono stati osservati in zona i seguenti tipi morfologici: scannellature (Rillenkarrren), scannellature irregolari orizzontali, Lapiez strutturali o di fessure:

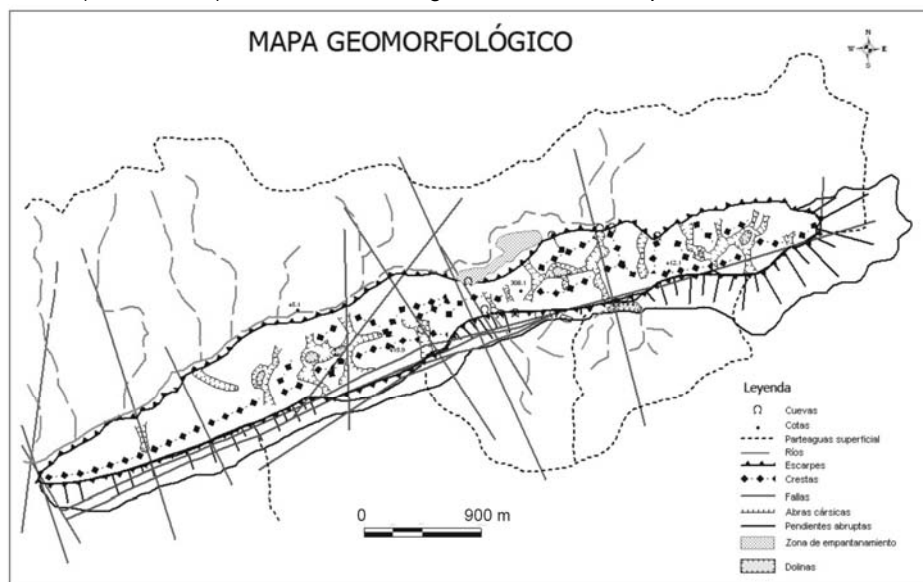


Fig. 5 - Carta geomorfologica della Sierra di San Vicente.
Fig. 5 - Geomorphological map of the Sierra de San Vicente.

(Kluftkarren), perforazioni cilindroidiche (Karrenrohren), vaschette di corrosione (Kamenitzas, solution basin), Lapiez micro-strutturali.

Assetto idrologico

L'aspetto idrogeologico della Sierra di San Vicente, e dei suoi immediati dintorni, è condizionato dalla presenza di rocce a comportamento idrologico radicalmente diverso (Tab. 1). Nella Sierra di San Vicente, predomina la alimentazione alloctona, anche se sono presenti importanti flussi autoctoni, i quali sono organizzati per via sotterranea. In genere, dove è possibile distinguerle, si trovano in stretta connessione le forme di alimentazione-transito-emissione, definendo chiaramente le zone che le raggruppano, e il cui raggruppamento genetico determina la associazione funzionale dei territori carsici. In tal senso, nel massiccio si riconoscono chiaramente i versanti assorbenti e emittenti, con il primo vincolato a una zona di contatto, dove i fiumi superficiali El Jovero e Los Gonzalez che incidono la zona montuosa tagliano trasversalmente gli omonimi polje. La seconda zona, con marcati caratteri fluvio-carsici, presenta anch'essa una rete di drenaggio lungo la zona di contatto, con cattura dei torrenti dopo il loro transito sotterraneo, e influenza delle sorgenti stagionali che provengono dalle argilliti. Le emergenze carsiche sono le meno chiare. Sono state riconosciute solo quelle direttamente associate agli inghiottitoi di entrambi i torrenti, anche se si sono individuati altri punti di emissione, ma senza conoscere la connessione idraulica con i sistemi, alcuni di questi a funzionamento stagionale.

NOME	ETÁ	LITOTIPO	POSIZIONE STRUTTURALE	TIPO DI AQUIFERO
Formazione San Cayetano	J ₁₋₂	Terrigeno	Alloctona	Livelli essenzialmente privi di acqua sotterranea
Formazione Jagua	J ₃	Carbonatico-terrigeno	Alloctona	Livelli con venute d'acqua sotterranea limitate o locali
Membro San Vicente della Formazione Guasasa	J ₃ -Cr ₂	Carbonatico	Autoctona	Acquiferi locali o senza produzione costante, o estesi ma solo moderatamente produttivi
Membro Ensenada Grande della Formazione Guane	Q	Terrigeno	Alloctona	Acquiferi estesi e estremamente produttivi

Tab. 1 - Comportamento idrogeologico delle formazioni acquifere
Tab. 1 - *Hydrogeological behaviour of the aquifers in the study area.*

Nel versante assorbente si sviluppano i torrenti El Jovero e Los Gonzalez (Tab. 2), con corsi d'acqua stagionali e di scarso flusso, con poche sinuosità, rapide a corrente rapida e con corsi molti brevi. La rete fluviale che si sviluppa nel polje è di tipo dendritico asimmetrico subparallelo, con gli affluenti concentrati nella parte meridionale del bacino. Il trasporto solido è principalmente costituito da sedimenti terrigeni dalle Alturas de Pizarras del Sud. La sezione trasversale dei canali è a forma di "U" aperta, con pareti a picco e presenza di piccoli meandri, alcuni dei quali al punto di essere abbandonati dalla corrente attuale. Questi torrenti, sebbene caratterizzati da scarse portate e con un profilo di equilibrio molto ma-

INDICI MORFOMETRICI	BACINO LOS GONZALES	BACINO EL JOVERO
Area del bacino (km ²)	0,928	0,837
Lunghezza reale (km)	0,8331	1,240
Lunghezza rettificata (km)	0,7382	0,9616
Coefficiente di sinuosità	1,128	1,289
Rotture di pendenza	12	9
Densità di drenaggio (km/km ²)	0,897	1,481

Tab. 2 - Indici morfometrici dei bacini superficiali che si sviluppano nel versante assorbente della Sierra di San Vicente, Viñales, Cuba.
Tab. 2 - *Morphometric indices of the superficial catchments in the recharge slope of the Sierra de San Vicente, Viñales, Cuba.*

turo, nella stagione piovosa, e principalmente durante gli eventi pluviometrici estremi (caratteristici del clima tropicale a Cuba), trasportano grandi volumi d'acqua verso le zone interne del massiccio, dando origine ai sistemi carsici ipogei omonimi, con sviluppi labirintici sovrapposti allo sviluppo ramificato predominante

Su questo versante sono presenti due chiari livelli di ripari sotto roccia (cavità marginali) che si aprono al contatto tra le formazioni Jagua e Guasasa e all'interno della Formazione Guasasa. Inoltre, è possibile distinguere almeno due livelli ipsometrici, uno in corrispondenza del contatto formazionale e l'altro, inferiore, in corrispondenza dei calcari della Formazione Guasasa, al livello dei polje. La loro origine può essere vincolata alla trasgressione marina plio-quadernaria verificatasi nella zona, per cui potrebbero rappresentare testimonianza di paleolivelli marini o lacustri in una prima tappa, a cui si sono sovrapposte altre fasi di modellamento per processi vadosi e gliptoclastici, favoriti dalla differenza di competenza tra le rocce delle formazioni in cui si aprono. Queste cavità sono "capaci di potere inviare con relativa rapidità verso il sistema idrologico sotterraneo le masse d'acqua che, durante gli

acquazzoni tropicali, inondano interamente il fondo dei poljes" (Lehmann, 1953).

La presenza di differenti sistemi carsici con differenti caratteristiche idrologiche in uno stesso contesto regionale, rende complessa la comprensione del loro funzionamento idrologico. Questi livelli si caratterizzano per essere trasfluenti, di flusso misto con una forte componente alloctona, prevalentemente orizzontali e permanenti, con numerosi sifoni nel percorso. L'origine di entrambi i sistemi è fluviale, con sviluppo di processi freatico-vadosi.

Il sistema carsico dell'Arroyo El Jovero presenta quattro livelli di carsificazione noti al momento: tre livelli fossili e uno attivo. I due livelli più antichi corrispondono alla Cueva del Abono. Completamente inattiva, il suo livello superiore si posiziona sopra la quota dei 200 m slm, il livello intermedio 10-15 m più in basso. Comunica attraverso un pozzo subverticale di 100 m con il livello inferiore attivo.

Nel sistema carsico dell'Arroyo Los González sono stati identificati cinque livelli di carsificazione, quattro dei quali sono fossili. Nella galleria più profonda del massiccio è stata riscontrata la presenza di abbondante gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), tanto in forma cristallina che amorfa,

Sistema Cavernario "San Vicente".

Cartografia: 1998-2003.

G.E.Guariguanico; GEDa; C.S.Etneo; G.G.Novara; G.G.Niphargus; G.G.Savona;
G.S.Savonese; G.S.Biellese; G.S.Alpi Marittime

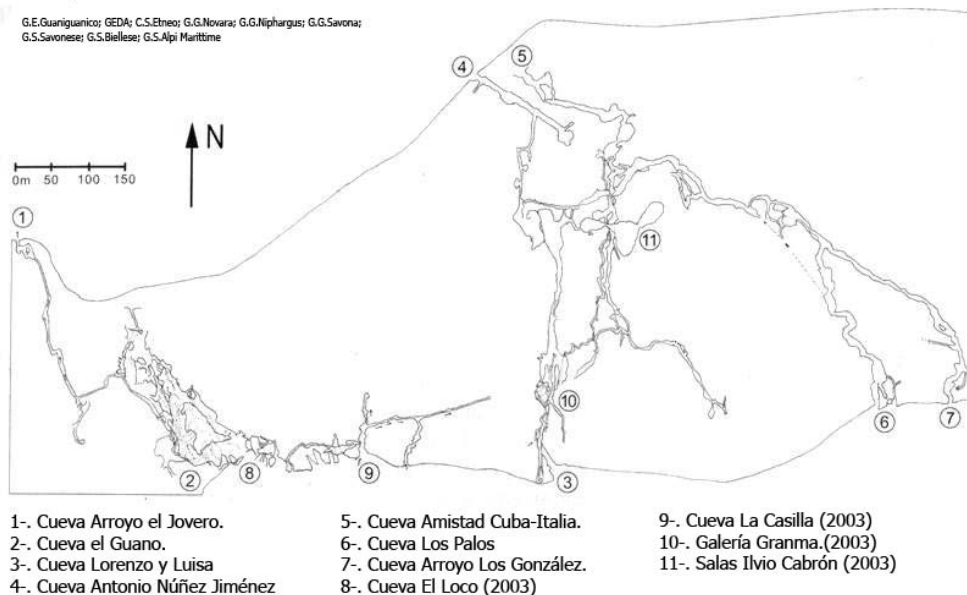


Fig. 6 - Topografia del sistema sotterraneo di San Vicente, Viñales, Cuba, realizzato in varie campagne speleologiche con colleghi della SSI.

Fig. 6 - Topography of the underground system of San Vicente, Viñales, Cuba, realized in several caving campaigns with Italian cavers belonging to SSI.

che copre sotto forma di crosta le pareti della grotta, in formazioni secondarie (fiori di gesso) e il pavimento della grotta. Come dato curioso, tutta la macrofauna cavernicola è stata trovata morta e associata alla presenza di gesso, il che potrebbe essere derivato da emanazioni di H_2S che avrebbe prodotto questo minerale.

Al fine di una migliore comprensione della dinamica idrologica, sono state eseguite varie analisi degli indici idrochimici su entrambi i versanti (Tab. 3). La prima di queste fu realizzata nel corso di una campagna speleologica con colleghi italiani nell'anno 1998, mentre le restanti sono state realizzate di recente. Sebbene questo studio sia ancora incompleto, ci permette di giungere al momento a qualche conclusione. Di regola, in entrambi i sistemi

PUNTO DI CAMPIONAMENTO	PORTATA (l/s)	TEMPERATURA (°C)	pH	CONDUTTIVITÀ (µs/cm)	DUREZZA (mg/l)
Arroyo los Gonzàles (inghiottitoio)	3,1	24,2	7,8	450	153
Arroyo los Gonzàles (risorgenza)	2,9	23	8	378	132
Lorenzo y Luisa (inghiottitoio)	0,8	24,2	7,7	387	132
Arroyo el Jovero (inghiottitoio)	1,2	24	7,9	420	121
Arroyo el Jovero (risorgenza)	2	22,5	8,2	388	115

Tab. 3 - Indici idrochimici raccolti in varie campagne di campionamento.
Tab. 3 - *Hydrochemical indices obtained from several sampling campaigns.*

carsici i valori diminuiscono verso i punti di emissione, mentre si registra un aumento del pH. Il comportamento di questi parametri può essere spiegato con una perdita del flusso alloctono verso qualche condotto sotterraneo per flusso laterale, fenomeno caratteristico nel corso di montagna di Cuba, o verso altri punti di emissione, la cui connessione idraulica tuttavia non è conosciuta.

Conclusioni

Lo sviluppo del carsismo nella Sierra di San Vicente è stato fortemente condizionato dal fattore geologico, che ha influenzato in maniera decisiva la configurazione idrologica e geomorfologica dell'area. La presenza di pareti ripide e del piedimonte, poljes e valli fluvio-carsiche, e la gran varietà di morfologie di lapies, si associano a unità litologiche, e nella maggioranza dei casi al contatto tra queste, come è il caso per le cavità marginali. È evidente l'esistenza di un controllo lito-stratigrafico nello sviluppo spaziale, morfologico e idrologico del carsismo, principalmente nei sistemi carsici presenti. Vi sono molti casi di grotte nelle rocce della Formazione Jagua, mentre le cavità orizzontali e sub-orizzontali sviluppatasi lungo i piani di stratificazione sono più comuni e evolute nella Formazione Guasasa. Ciascuno degli elementi che conformano la varietà morfologica superficiale e sotterranea della Sierra di San Vicente ha una forte influenza strutturale, risultando fortemente condizionato dalle fratture presenti. Tanto nei livelli fossili che in quelli attivi dei sistemi carsici dei torrenti El Jovero e Los González le gallerie a maggior sviluppo lineare sono orientate NNE, in un range compreso tra 310° e 10°, che è la direzione di maggiore sviluppo delle discontinuità tettoniche (fratturazione e allineamenti tettonici), il che può derivare dalla sovrapposizione di due sistemi di fratture con la stessa orientazione, ma appartenenti a eventi tettonici differenti. Si osserva quindi una stretta coincidenza per quanto riguarda lunghezza e sviluppo spaziale delle discontinuità tettoniche e degli elementi carsici nel massiccio, per cui si può affermare che esiste un evidente controllo tettonico nella evoluzione spaziale del carsismo nella Sierra di San Vicente.

Dal punto di vista idrologico, la regione è fortemente influenzata dal comportamento idrologico delle unità acquifere descritte nell'area. La ricarica alloctona proveniente dai bacini superficiali che si sviluppano sui territori non carsici del versante assorbente del sistema, e tagliano trasversalmente i polje marginali, sono le principali fonti di apporto al sistema carsico. I bacini, seppure di piccole dimensioni, presentano elevata maturità morfologica e di conseguenza flussi importanti in occasione dei maggiori eventi meteorologici caratteristici a Cuba, determinando variazioni allo sviluppo labirintico sovrapposto all'andamento di drenaggio ramificato (*Branchwork pattern*). La quantità di acqua scaricata dai due sistemi sotterranei che si sviluppano nel massiccio è catturata dal fiume Las Cuevitas, che si sviluppa al contatto tra le zone carsiche e non carsiche, conferendole marcati caratteri di fluvio-

carsismo.

Di regola, in entrambi i sistemi carsici i valori diminuiscono verso la zona di scarico, mentre il pH aumenta. Il comportamento di questi parametri può essere spiegato probabilmente per una perdita del flusso alloctono in direzione di qualche condotto sotterraneo laterale, fenomeno caratteristico nel carso di montagna di Cuba, che si comporta come un merocarso, o verso un altro punto di emissione, la cui connessione idraulica è tuttavia al momento sconosciuta.

Bibliografia

- Cabrera M. (1998) - *Geología del Cuaternario de la región Norcentral del archipiélago cubano*. Memorias III Congreso de Geología y Minería, vol I, pp. 78-81. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Cáceres D. (1998) - *Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de la Sierra de los Órganos*. Memorias III Congreso de Geología y Minería, vol. I, pp. 89-92. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Cobiella J. (1996) - *Estratigrafía y eventos jurásicos en la Cordillera de Guaniguanico*. Minería y Geología. vol. 13 (3), p. 11.
- Denis R. (1998) - *Algunas consideraciones sobre el Cuaternario de Cuba Occidental*. Memorias III Congreso de Geología y Minería, vol I, pp. 180-182. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- Díaz C. (1999) - *Geología y Geomorfología del carso en la Sierra de San Vicente, Vinales, Cuba*. Tesi in Geologia Regionale, Universidad de Pinar del Río, 51 pp.
- Díaz J. (1986) - *Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro-oriental de Cuba*. Ed. Academia de Ciencias. La Habana, 60 pp.
- Dzulynski S. et al. (1984) - *Observaciones sobre la génesis de algunos sedimentos terrígenos cuaternarios del occidente de Cuba*. Ciencias de la Tierra y el Espacio, vol. 9, pp. 75-89.
- Gordon M.R. et al. (1997) - *Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba*. Journal of Geophysical research, vol. 102 (B5), pp. 10005-10082.
- Lehmann H. (1953) - *Karst-Entwicklung in den tröpen. Die Uns*. In: Wissenschaft und Technik, Frankfurt, 18, 32-45.
- Martínez D. (1994) - *Informe sobre la generalización del mapa geológica del occidente de Cuba a escala 1:100.000*. O.T.R.M. Pinar del Río.
- Molerio L. (1981) - *Problemas hidrogeológicos del karst de montaña de Cuba*. Voluntad Hidráulica, vol. XVIII (55), pp. 37-40.
- Molerio L. (1982) - *Algunos resultados de la aplicación del método de recesión al estudio hidrodinámico de los acuíferos carsicos cubanos*. In: Coloquio Internacional sobre Hidrología Carsica en la Region del Caribe. UNESCO, pp. 201-212.
- Núñez Jiménez A. (1984) - *Cuevas y carsos*. Edición Científico-Técnica, La Habana, Cuba, 431 pp.
- Núñez Jiménez A., Panos V. & Stelcl O. (1968) - *Carsos de Cuba*. Serie Espeleológica y Carsológica, Academia de Ciencias de Cuba, vol. 2, 47 pp.
- Pszczółkowski A. (1987) - *Contribución a la Geología de Pinar del Río*. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 225 pp.
- Ramos A. (1997) - *Relación cavernamiento-agrietamiento en la Sierra del Infierno: Una contribución al estudio del carso en Pinar del Río*. Tesi, Universidad de Pinar del Río.