

IL VULCANISMO DELLE ISOLE *FØROYAR*

GUIDO MAZZOLENI*

* *Stazione Valchiavenna per lo Studio dell'Ambiente Alpino, Via dei Cappuccini - 23020 Chiavenna (Sondrio) guido.mazzoleni@unimi.it*

Key words: *Føroyar* (*Færøerne* / Faroe) Islands, North-Atlantic Igneous Province, flood basalts, amygdaloidal vesicles, zeolites

RIASSUNTO

A integrazione di quanto descritto nel precedente articolo sulle zeoliti delle Faroe, la presente nota illustra il contesto geologico dell'arcipelago, sintetizzando parte di quanto descritto in letteratura. L'arcipelago costituisce una piccola parte emersa di un grande rilievo sottomarino, formatosi tra il Paleocene e l'Eocene inferiore. Spettacolari forme di paesaggio, affioramenti tra i più completi della successione vulcanica della Provincia Ignea Nord-Atlantica e la località-tipo di una specie minerale costituiscono i molteplici motivi d'interesse di questi luoghi, dal punto di vista della geodiversità, facendone una risorsa preziosa per il turismo culturale grazie all'intreccio con altri temi d'interesse naturalistico.

ABSTRACT

With the aim to complete the description in former article about the zeolites of Faroe, this short paper wish to explain the geological context of this archipelago, by partly synthesizing the data available from geological literature. The island cluster corresponds to a minimal, central part of a huge submarine volcanic relief, which formed between Paleocene and lower Eocene. Faroe islands are mainly built of a basaltic lava flows pile, with interbedded thin layers of pyroclastic falls. The reliefs are massive, often showing nearly vertical cliffs although maximum elevation does not exceed 900 m a.s.l. The whole lava flows sequence is gently dipping towards South-East, thus showing one of the most complete outcropping section of North-Atlantic Igneous Province volcanic sequence. "Fossil" volcanism-linked landforms and the type-locality of a zeolite group mineral species add further interest to this area, from the geodiversity point of view. This facts, combined with other, great value naturalistic interest features, give rise to a very important resource for the cultural tourism development. Faroe islands will correspond to two of the planned field trips in the schedule of the next Oslo 2008 International Geological Congress.

INTRODUZIONE

Il precedente articolo illustrava la ricchezza di minerali del territorio faroese; le presenti note propongono un approfondimento per chi voglia conoscere il contesto geologico dei ritrovamenti. Quanto di seguito accennato costituisce una sintesi della letteratura geologica riguardante l'area compresa tra Atlantico settentrionale e Mar di Norvegia, i meccanismi crostali che ne hanno governato l'evoluzione (in particolare degli ultimi 150 milioni di anni) ed i processi geologici, in particolare il vulcanismo, che ne sono derivati.

Le lave a zeoliti delle Isole *Føroyar* e quelle dei Lessini, oggi entrambe ben rappresentate nelle collezioni del Museo "Zannato", costituiscono un caso esemplare di convergenza, in cui da processi svoltisi in un diverso contesto geologico possono derivare vulcanismo e mineralizzazioni relativamente simili. I campioni descritti nel precedente articolo ricordano infatti, per molti aspetti, quelli delle località classiche del Vicentino, rinvenuti in rocce quasi coeve (Paleocene - Oligocene superiore) appartenenti alla Provincia Vulcanica Veneta (DE VECCHI &

SEDEA, 1995). Nonostante queste ultime siano geneticamente legate all'orogene alpino (anche se in un quadro geodinamico di estensione) e i depositi vulcanici abbiano un chimismo moderatamente alcalino (basalti alcalini e basaniti, come tipi dominanti), si notano delle chiare affinità con le serie tipicamente anorogeniche e indicazioni generali che possono suggerirne la derivazione dal mantello superiore, nonché un meccanismo di formazione simile a quello descritto per le lave a zeoliti delle *Føroyar* (MACERA *et al.*, 2003).

Un viaggio alle Isole *Føroyar*, possibilmente in combinazione con l'Islanda, può illustrare aspetti di eccezionale interesse agli appassionati di turismo culturale a tema naturalistico. In particolare, le *Føroyar* sono un autentico santuario della natura e costituiranno l'oggetto di due escursioni tematiche, nell'ambito del prossimo Congresso Internazionale di Geologia (33rd IGC, Oslo, 2008).

PLATEAUX BASALTICI SUBAEREI E SUBACQUEI

Alcune aree del pianeta devono la loro fama a colossali

espandimenti lavici (*plateaux* basaltici), che ne caratterizzano il paesaggio geologico. Si tratta di superfici dell'ordine del milione di km², con spessori della sequenza di colate di diverse centinaia di metri, prodotti essenzialmente da eruzioni di tipo lineare. Volumi così imponenti si devono a processi di fusione del mantello, che avvengono in luoghi ben precisi, secondo meccanismi particolari e tuttora oggetto di un'accesa discussione. Il modello di riferimento più comune è quello delle megastrutture definite *plumes*, delle quali i ben noti "punti caldi" (*hot spots*) sarebbero le manifestazioni superficiali. Gli espandimenti, noti anche come *flood basalts*, si trovano in aree sia di crosta continentale [come nel caso dei basalti del Paranà, datati in prevalenza 119-149 Ma (milioni di anni fa), e del Deccan, 65-69 Ma], sia di crosta oceanica. Aspetti comuni dei *plateaux* basaltici sono la loro composizione sovrassatura in SiO₂ (in genere, quarzo-tholeiiti), la netta prevalenza delle lave rispetto ai prodotti piroclastici (fig. 1) ed infine l'interesse mineralogico (formazione di calcite, quarzo e zeoliti, nelle cavità amigdaloidi dovute ai processi di degassazione e raffreddamento).

Gli espandimenti basaltici su crosta oceanica risultano meno appariscenti, ma le loro dimensioni non sono affatto subordinate. Uno dei più famosi si trova tra la Groenlandia e l'Europa settentrionale, in un settore (Mare del Nord-Mar di Norvegia) dove l'intensa attività di ricerca d'idrocarburi ha reso disponibile una gran quantità di informazioni dettagliate. Campagne di studi oceanografici e geofisici ne hanno messo in luce le caratteristiche strutturali, dominate dalla presenza della dorsale medio-atlantica, delle zone di frattura che la segmentano e di un caratteristico settore in rilievo (SIGMOND, 2002). Quest'ultimo unisce in un'ampia "piattaforma" la costa orientale della Groenlandia, l'Islanda, le Isole *Føroyar* e la costa settentrionale delle Isole Britanniche, rappresentando l'elemento di separazione tra l'Atlantico settentrionale ed il Mar di Norvegia (fig. 2). Il rilievo è costituito da una fascia di crosta oceanica dello spessore di circa 25-30 km: tale valore anomalo, soprattutto se paragonato a quello, attorno ai 10 km, degli adiacenti segmenti della dorsale medio-atlantica, ne indica un tasso stimabile di "estrazione" magmatica dal mantello fino a tre volte maggiore (FOULGER *et al.*, 2005).

L'attuale geografia e l'assetto strutturale della crosta rispecchiano l'evoluzione geologica, determinata (*ibidem*) essenzialmente da due cicli orogenici: caledoniano ed alpino. Il primo, manifestatosi tra il Cambriano ed il Siluriano, ha prodotto la collisione dei blocchi continentali Laurenzia-Groenlandia e Fennosarmazia, chiudendo il paleo-oceano Iapeto ("Proto-Atlantico"). Il secondo ha avuto inizio con lo sviluppo del sistema di grandiose fratture, che avrebbe in seguito prodotto la separazione tra il blocco costituito da Nord-America e Groenlandia e quello europeo (megarift Artico-Nord-Atlantico).

EVOLUZIONE GEOLOGICA TRA ATLANTICO SETTENTRIONALE E MAR DI NORVEGIA

Nel quadro generale della lacerazione della Pangea

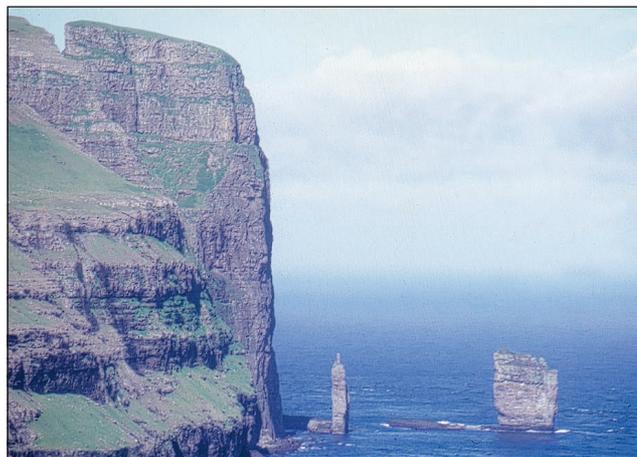


Fig. 1 - Isola di Eysturoy: alte scogliere e monoliti a picco sul mare, strutture tipiche lungo le coste delle *Føroyar*. (Foto S. Ghizzoni)

(megacontinente "globale", consolidatosi dopo l'orogenesi ercinica), la separazione continentale nella regione del Mar di Norvegia ha avuto inizio nel Giurassico, con assottigliamento crostale e formazione di un sistema di frattura estensionale, orientato essenzialmente NE-SO. Tra la fine del Giurassico e l'inizio del Cretacico, all'interno delle strutture a *graben*, si formarono alcuni apparati vulcanici. Nelle depressioni tettoniche si depose la spessa successione sedimentaria marina, oggi serbatoio dei campi petroliferi. Tettonica di estensione e vulcanismo ebbero una pausa nel Cretacico, prima che nel Mar di Norvegia si formasse una vera crosta oceanica. Nel tardo Cretacico si attivò un processo di *rifting* continentale tra Nord-America e Groenlandia, dando luogo all'apertura del Bacino del Labrador; la Groenlandia rimase in quel momento (circa 90 Ma) saldata all'Europa (FOULGER *et al.*, 2005).

Nel Paleocene (55-60 Ma) ebbe inizio l'espansione dei fondali marini tra la Groenlandia e la massa continentale europea. Un'analogha espansione si produsse, lungo un "ramo occidentale" della dorsale medio-atlantica, tra Groenlandia e Nord-America originando l'apertura della Baia di *Baffin*: la Groenlandia ebbe perciò il ruolo di placca indipendente durante la prima parte del Cenozoico, mentre le Isole *Svalbard* venivano traslate verso Sud-Est, lungo la zona di frattura di *Nansen*. Uno spesso *plateau* basaltico si formò tra la Groenlandia orientale, la Scozia occidentale, l'Irlanda del Nord e le Isole *Føroyar*. I processi geodinamici prevalenti nel settore più vicino all'Europa comportarono una estensione crostale, orientata ancora NE-SO. Nell'Eocene superiore (circa 36 Ma) si disattivò il "ramo occidentale" della dorsale medio-atlantica e la massa della Groenlandia si unì alla placca nord-americana. Ancora oggi, la Groenlandia continua ad allontanarsi dall'Europa alla velocità di 1-2 cm all'anno, in un quadro complesso di movimenti verso Nord-Ovest (FOULGER *et al.*, 2005).

L'ampio rilievo comprendente la costa orientale della Groenlandia, l'Islanda e le *Føroyar* venne costruito da una serie di eruzioni fissurali che si produssero, in base alle interpretazioni più accreditate, al di sopra di un grandioso



Fig. 2 - Cartina della localizzazione delle isole. Elementi fisiografici del rilievo sottomarino e delle terre emerse, tra Groenlandia ed Europa settentrionale (da cd Copyright Paolo Pandullo - Giovanni Comunale; riproduzione P. Pandullo).

hot spot (ELLIS *et al.*, 2002; JOLLEY & BELL, 2002; TEGNER & DUNCAN, 1999). Nel Paleocene, le Isole *Føroyar* si trovavano (LARSEN *et al.*, 1999) ad una distanza dell'ordine del centinaio di km dalla costa orientale della Groenlandia, dalla quale distano attualmente poco meno di 1.100 km. Le *Føroyar* costituiscono una minima parte centrale, emersa, di un ampio rilievo sottomarino (il settore delimitato dall'isobata 200 m misura circa 200 x 200 km), con una "scia" di *seamounts* minori verso Sud-Ovest. Il rilievo, a sua volta, appartiene ad un alto strutturale (*Plateau Føroyar - Rockall*), largo tra 350 e 400 km e lungo circa 1.800 km, sviluppato in direzione NE-SO, nettamente separato dall'Europa dalla scarpata delle Ebridi e dal canale delle *Føroyar-Shetland*. Dal punto di vista petrografico, è stata osservata (LARSEN *et al.*, 1999) la similitudine tra le sequenze vulcaniche delle *Føroyar*, della Groenlandia e di alcuni settori dell'Islanda (fig. 2). A differenza di quest'ultima, manca però nelle *Føroyar* il vulcanismo post-eocenico ed, in particolare, quello quaternario: le spettacolari forme di paesaggio osservabili nell'arcipelago sono solo quelle scolpite dall'erosione. I *flood basalts* del *Plateau Føroyar - Rockall* derivano da una serie di eruzioni subaeree e ricoprono un'area che sarebbe stata sommersa in un secondo momento. Si tratta di una delle successioni più spesse e complete della Provincia Ignea Nord-Atlantica.

IL VULCANISMO DELLE FØROYAR

Le vulcaniti delle *Føroyar* consistono in una sequenza piano-parallela di colate di notevole spessore individuale, leggermente basculata verso SE (RASMUSSEN & NOENYGAARD, 1970). La pila di lave basaltiche ha un'età compresa tra il Paleocene e l'Eocene inferiore e ricopre un basamento di rocce sedimentarie (successione paleozoica e meso-cenozoica) non esposto, ma osservato nei pozzi. Dati geochimici sulla contaminazione crostale dei basalti indicano la presenza di un basamento cristallino continentale, profondamente sepolto. La sequenza vulcanica delle *Føroyar* ha uno spessore di circa 3 km, osservabile in affioramenti, ed uno superiore ai 2 km, trovato nelle perforazioni, che non ne hanno raggiunto la base (LARSEN *et al.*, 1999). Tale sequenza è informalmente¹ divisa in tre serie: inferiore, intermedia e superiore (RASMUSSEN, 1982; WAAGSTEIN, 1988). Da un punto di vista geodinamico, la serie inferiore, ricoperta da un sottile orizzonte sedi-

¹ È in corso la revisione della stratigrafia del Gruppo Basaltico delle Isole *Føroyar* (*Faroe Islands Basalt Group*, FIBG), con proposta di formalizzazione: PASSEY S.R., JOLLEY D.W. & BELL B.R. (in prep.) - Formalization of the lithostratigraphic nomenclature for the Faroe Islands Basalt Group, NE Atlantic. È inoltre prevista entro la fine del 2007 la pubblicazione della nuova cartografia geologica e delle relative memorie.

mentario con livelli di carbone, può essere considerata precedente rispetto al processo di separazione continentale, mentre quelle intermedia e superiore ne risultano contemporanee. Viene descritta un'evoluzione da basalti magnesiaci ricchi in Ti e subordinate picriti verso basalti tipo MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalts*), con basso contenuto in Ti (LARSEN *et al.*, 1999).

Tra le vulcaniti affioranti nelle *Føroyar*, le più comuni sono colate basaltiche di tipo *Aa*, prevalenti nella serie inferiore, e di tipo *Pahoehoe*, presenti soprattutto nella serie intermedia e superiore. Le prime hanno spessore maggiore, dell'ordine della quindicina-ventina di metri, sono di tipo semplice, con un nucleo non vescicolato che, verso la base e la parte superiore del flusso, passa gradualmente a parti fortemente brecciate e scoriacee; i flussi basaltici più spessi presentano sovente la tipica fessurazione colonnare. Le seconde sono relativamente più sottili (attorno alla decina di metri), presentano una superficie di tetto liscia e finemente ondulata, sono in genere di tipo composto, con più livelli interni di spessore variabile, e presentano numerose strutture di degassazione (*pipes*), cavità bollose e mineralizzazioni (WAAGSTEIN, 1998). Le colate sono separate da sottili depositi piroclastici, nettamente subordinati per volume: ne deriva l'aspetto d'insieme piuttosto massivo degli affioramenti di vulcaniti.

I MINERALI DELLE CAVITÀ AMIGDALOIDI

Il precedente articolo si limitava a descrivere le specie d'interesse collezionistico, rinvenute in forma ben cristallizzata entro le cavità amigdaloidi delle lave, tralasciando quanto presente come fasi di esclusivo interesse petrografico, oppure osservabile solo nei campioni provenienti dalle perforazioni. Le specie rinvenute e descritte non sono perciò rappresentative dell'intera mineralogia dell'arcipelago, né tanto meno possono fornire la base per definire una distribuzione in zone (a tale proposito si rimanda a JØRGENSEN, 2006). I minerali presi in considerazione sono dunque quelli di genesi idrotermale, formati nel corso della degassazione e raffreddamento delle lave, in un intervallo di temperature compreso tra 60 e circa 300 °C. A proposito dei campi di stabilità, si può dire che le specie di alta temperatura (analcime, laumontite) risultano, nelle lave faroesi, relativamente rare mentre quelle più diffuse si formano in un intervallo tra 60 e 100 °C. Va qui solo accennato che il considerevole spessore della successione vulcanica ha determinato, in funzione del seppellimento delle rocce e di un paleogradiente geotermico superiore ai 60 °C/km, condizioni di metamorfismo di bassissimo e basso grado, con formazioni di varie zeoliti ed altre specie caratteristiche come prehnite, “pum-



Fig. 3 - Cavità amigdaloidi, parzialmente rivestita da celadonite, con thomsonite-Ca (sferula di 6 mm) e analcime; presso Lambafellj, Isola di Streymoy (vedi itinerario 18b descritto nel lavoro precedente su questa rivista) (foto R. Appiani).

pellyite”, “clorite” ed epidoto (WAAGSTEIN *et al.*, 2002; JØRGENSEN, 2006).

Le cavità con cristalli sono un “oggetto” caratteristico delle vulcaniti delle più celebri località mineralogiche (basti pensare agli splendidi campioni provenienti dall'area di *Poona*, India). Esse si formano per l'espansione di bolle di gas (soprattutto vapor d'acqua, CO₂, SO₂), precedentemente in soluzione nel fuso basaltico, quando temperatura e pressione calano a sufficienza. I livelli superiori dei vari flussi lavici sono quelli maggiormente vescicolati. Le cavità tendono, soprattutto nella parte inferiore, ad essere rivestite da idrossidi di ferro e da specie di sostituzione dei minerali ferro-magnesiaci, come la celadonite (fig. 3). In un secondo momento, i processi idrotermali tardivi originano diversi nuclei di cristallizzazione, sparsi in modo relativamente disordinato sulle pareti delle cavità che, a questo punto, si chiamano amigdaloidi in quanto ricordano la distribuzione di mandorle in un dolce (dal termine latino *amygdala* = mandorla). Non sempre le cavità sono mineralizzate.

Una caratteristica comune delle cavità amigdaloidi faroesi è la scarsità di SiO₂ libera (le relative fasi sono poco diffuse e presenti in campioni modesti, se paragonati a quelli provenienti da altri contesti analoghi) ed una mineralogia relativamente semplice, con poche specie associate alle zeoliti.

RINGRAZIAMENTI

L'autore desidera ringraziare il Prof. De Vecchi, per la lettura critica ed i consigli sulla miglior forma di presentazione del contenuto di questo articolo e del precedente, a beneficio dei lettori.

BIBLIOGRAFIA

- DE VECCHI G.P. & SEDEA R. (1995) - The Paleogene basalts of the Veneto Region (NE Italy). *Mem. Sci. Geol.*, 47, 253-374.
 ELLIS D., BELL R.B., JOLLEY D.W. & O'CALLAGHAN M. (2002) - The stratigraphy, environmental of eruption and age of the Faroes Lava Group, NE Atlantic Ocean - In: *Jolley D.V. & Bell B.R. (Eds.) "The*

North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, Tectonic, Volcanic and Magmatic Processes", Geological Society Special publications, 197, 253-269, London.

- FOULGER G.R., NATLAND J.H. & ANDERSON D.L. (2005) - A source for Icelandic magmas in remelted Iapetus crust - *Journal of Volcanology*

- and *Geothermal Research*, 141, 23-44.
- JOLLEY D.V. & BELL B.R. (2002) - The evolution of the North Atlantic Igneous Province - In: *Jolley D.V. & Bell B.R. (Eds.) "The North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, Tectonic, Volcanic and Magmatic Processes"*, *Geological Society Special publications*, 197, 1-13, London.
- JØRGENSEN O. (2006) - The regional distribution of zeolites in the basalts of the Faeroe Islands and the significance of zeolites as palaeo-temperature indicators - *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 9, 123 - 156.
- LARSEN L.M., WAAGSTEIN R., PEDERSEN A.K. & STOREY M. (1999) - Trans-Atlantic correlation in Paleogene volcanic succession in the Faeroe Islands and East Greenland - *Journal of the Geological Society* - 156, 6, 1.081 - 1.095, London.
- MACERA P., GASPERINI D., PIROMALLO C., Blichert-Toft J., Bosch D., Del Moro A. & Martin S. (2003) - Geodynamic implications of HIMU mantle in the source of Tertiary volcanics from the Veneto Region (South Eastern Alps). *Journal of Geodynamics*, 36, 5, 563-590.
- RASMUSSEN J. & NØE-NYGAARD A. (1970) - Geology of the Faeroe Islands - Traduz. in Inglese dell'originale del 1969, a cura di G. Henderson, *Geological Survey of Denmark*, I, 25, 142 pp., Copenhagen.
- RASMUSSEN J. (1982) - The Faeroer Islands: geology - *Monographie Biologicae*, 46, ed. by G.K. Rutherford, Dr. W. Junk Publisher.
- SIGMOND E.M.O. (2002) - Geological map, Land and Sea areas of Northern Europe. Scale 1: 4 million. *Geological Survey of Norway*. Printing: Almqvist & Wiksell Tryckeri, Uppsala.
- TEGNER C. & DUNCAN R. A. (1999) - ^{40}Ar - ^{39}Ar chronology for the volcanic history of the Southeast Greenland rifted margin - In: *Larsen H. C., Duncan R. A., Allan J. F. & Brooks K. (Eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 163, 53-62.
- WAAGSTEIN R. (1988) - Structure, composition and age of the Faeroe basalt plateau - In: *Morton A. C. & Parson L. M. (Eds.) "Early Tertiary volcanism and the opening of the NE Atlantic"*, *Geological Society Special Publication*, 39, 225-238, London.
- WAAGSTEIN R., GUISE P. & REX D. (2002) - K/Ar and $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ whole rock dating of zeolite facies metamorphosed flood basalts: the upper Paleocene basalts of the Faeroe Islands, NE Atlantic - In: *Jolley D. W. & Bell B. R. (Eds.) "The North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, Tectonic, Volcanic and Magmatic Processes"*, *Geological Society Special Publication*, 197, 219-252, London.