

RESUME

L'Est de l'île d'Elbe est connu pour l'abondance de ses gisements de fer. Ces gisements, exploités depuis l'Antiquité, se situent le long de la côte est d'Elbe, et s'inscrivent dans une ceinture orientée Nord-Sud. On y retrouve associés des systèmes hydrothermaux ayant pour cause le même magmatisme que celui à l'origine de la Province Magmatique Toscane, pendant le stade post-collisionnel de l'orogénèse Apennine (Miocène).

Dans cette étude, une cartographie détaillée, couplée à de nombreuses méthodes analytiques telles que la pétrographie optique, la susceptibilité magnétique, AMS, SEM, EMPA, le QEMSCAN, le LA-ICP-MS, la microthermométrie des inclusions fluides, et la datation U/Pb avec le LA-ICP-MS, ont été utilisées pour caractériser dans le plus grand détail la formation et l'architecture du skarn ferrifère distal de Calamita.

Ce skarn est le gisement le plus au sud de l'île, encaissé dans des marbres et des schistes appartenant à la Formation de Calamita, et aucun lien avec une intrusion quelconque n'a été détecté. Il présente une zonation minéralogique, influencée par la nature du protolithe, composée de trois domaines : pyroxène-ilvaite, grenat et epidote. Le pyroxène, le grenat et l'ilvaite se forment en remplacement du marbre, l'épidote – en remplacement du schiste. Le minerai principal est composé de magnétite et d'hématite, qui présentent des textures massives, stratifiées, ou disséminées. Les sulfures sont aussi présents, mais restreints aux veines à quartz, calcite et pyrite, ou alors à petites zones, disséminés. Le stade le plus tardif de la minéralisation est marqué par des veines de quartz-adulaire.

La composition chimique des silicates et des oxydes de Fe présents dans le skarn montrent des teneurs anormalement élevées en B, Sn et W (centaines à milliers de ppm), ce qui permet d'associer leur origine aux fluides hydrothermaux d'origine magmatique.

Deux générations de fluides ont été déterminées par microthermométrie des inclusions fluides. Les fluides en lien avec le skarn étaient chauds (<400°C) et salins (8-14wt% NaCl éq.), alors que les fluides liés à la précipitation des sulfures ont montré des températures plus basses (~220°C) et des salinités de l'ordre de 0 à 0.5 wt% NaCl éq.

Pour la première fois, cette étude apporte une datation in-situ d'un skarn distal de l'île d'Elbe. Des âges U-Pb obtenus par analyses LA-ICP-MS, et provenant d'un cristal d'andradite ont permis d'estimer l'âge de l'épisode de skarnification (5.09 ± 0.27 Ma). Le skarn s'avère donc être plus récent d'un million d'année que les événements magmatiques connus à l'Est de l'île d'Elbe.

Le modèle de formation proposé consiste en : i) emplacement d'une intrusion, exsolution de petites quantités de fluides hydrothermaux, et formation d'un petit skarn magnésien ; ii) large contribution magmatique, accompagnée d'une exsolution plus importante de fluides. En résulte un rapport fluide/roche élevé, une tourmalinisation des schistes, et la remobilisation de grandes quantités de Fe par le fluide magmatique. Les fluides minéralisateurs métasomatisent le marbre et le schiste, produisant un skarn ferrifère de volume plus important que le skarn magnésien ; iii) précipitation des oxydes de Fe, due à la dissolution des minéraux du skarn, ainsi qu'à l'introduction de fluides ferrifères supplémentaires ; iv) « télescope »/uplift et introduction de soufre réduit dans le système, causant la précipitation de sulfures ; v) veines de quartz-adulaire recoupant le système dans son ensemble.

Toutes les nouvelles découvertes répertoriées dans cette étude peuvent être utilisées afin de mieux comprendre la genèse des gisements de Fe de l'Est de l'île d'Elbe, et peuvent potentiellement apporter une compréhension plus détaillée de cette partie du monde.

Mots-clés : *Skarn distal, île d'Elbe, Gisement de Fe, Fluides hydrothermaux d'origine magmatique, Datation U-Pb de grenat.*

ABSTRACT

Eastern Elba Island (Italy) is famous for its large occurrence of Fe-ore deposits. These deposits exploited since ancient times are located within a N-S belt along the eastern coast of the island. The deposits are associated with hydrothermal systems caused by the magmatism that generated the Tuscan Magmatic Province during the post-collisional stage of the Apenninic orogeny (Miocene).

In the present study, a detailed field mapping together with a large set of analytical techniques (optical petrography, magnetic susceptibility, AMS, SEM, EMPA, QEMSCAN, LA-ICP-MS, fluid inclusion microthermometry and U/Pb LA-ICP-MS dating) have been used to characterize with the maximum detail the formation and architecture of the distal Fe-skarn of Calamita.

The Calamita distal Fe-skarn is the southernmost deposit on Elba. It is hosted in marbles and schists from the Calamita Fm. and no causative intrusion has been found. It presents a distinguished mineral zonation composed of pyroxene-ilvaite, garnet and epidote domains. This mineral zonation reflects the influence of the protolith in the skarn mineral assemblage. Pyroxene, garnet and ilvaite are formed in the marble whereas epidote is formed in the schist. The main ore minerals of the deposit are magnetite and hematite, presenting massive, layered or disseminated textures. Sulfides are present in the deposit but restricted to quartz-calcite-pyrite veins or as small disseminations. The latest stage of mineralization consists of quartz-adularia veins.

Mineral chemistry of skarn silicates and Fe-oxides shows anomalous high concentrations in B, Sn and W (100s-1000s ppm). This geochemical feature allows linking their origin to hydrothermal fluids exsolved by magmatic intrusive bodies.

Two different fluids have been determined by fluid inclusion microthermometry. The skarn-related fluids were hot ($\leq 400^{\circ}\text{C}$) and saline (8-14 wt% NaCl eq.) whereas the fluids related to

the sulphide precipitation had lower temperatures ($\sim 220^{\circ}\text{C}$) and very low salinities (0-0.5 wt% NaCl eq.).

For the first time, this study reports an in-situ dating of the skarn stage of a distal skarn from Elba Island. Garnet (andradite) U-Pb LA-ICP-MS ages constrained the skarnification event at 5.09 ± 0.27 Ma, which is around 1Ma younger than any magmatic occurrence in eastern Elba.

The proposed genetic model consists of: i) intrusion of a magmatic body, exsolution of low amounts of hydrothermal fluid and generation of small Mg-rich skarn body; ii) large magmatic input followed by exsolution of larger volumes of fluid. This produces a high fluid/rock ratio that tourmalinizes the schists, liberating large amount of Fe to the fluid. The Fe-rich fluids metasomatize the marble and the schist to produce a large Fe-rich skarn; iii) precipitation of the Fe-oxides by the dissolution of the skarn minerals plus the introduction of more Fe-rich fluids into the system; iv) telescoping/uplifting and introduction of reduced sulfur to the system, producing the precipitation of sulfides; v) quartz-adularia veins crosscutting the whole system.

All the documented new findings in this study could be applied to understand better the yet poorly understood genesis of the Fe-ore deposits from eastern Elba and help to bring a more detailed comprehension of this part of the world

Keywords: *Distal skarn, Elba Island, Fe-deposit, Magmatic hydrothermal fluids, Garnet U-Pb dating*