

CARLO USAI

VIA CAMPAGNANO 59 - ROMA 00189

TEL/FAX STUDIO: 0039 06 491696
TELEFONO: 0039 335 8138597

carlousai.restauero@libero.it
carlousai@iol.it

<http://www.carlo-usai-restauero>

TVA: FR 48452757115

SIRET: 45275711500012

ALLEMAGNE - FRANCFORT **Monument Hoche à Weissenthurm**

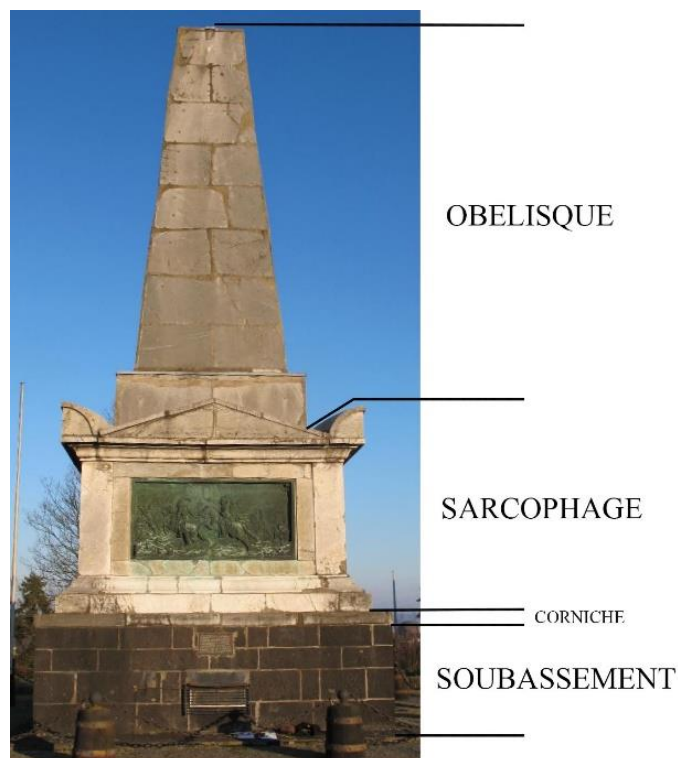


Rapport sur l'état actuel et propositions d'intervention.

Juillet 2021

On décrira le monument en le divisant par zones et matériaux:

- 1) - Soubassement en basalte sombre.
- 2) - Corniche en calcaire fossilifère sombre.
- 3) - Sarcophage en calcaire fossilifère clair.
- 4) – Bas-reliefs en bronze.
- 5) - Obélisque en calcaire fossilifère sombre.



1)- Soubassement en basalte sombre.

Constituée de grands blocs de pierre lavique noire, poreuse, qui sont le revêtement d'un noyau construit en maçonnerie. Entre les joints il y a le même ciment que partout ailleurs, datant donc du XXe siècle.

Dégradation.

La matière siliceuse des pierres n'est pas dégradée. Certaines taches plus claires sont dues à des lessivages de la pluie répétés dans le temps dans certaines zones ou au dépôt d'algues et

de lichens. Structurellement, le revêtement présente des lésions dues seulement au mouvement de quelques blocs.



Surfaces des blocs du soubassement.

2)- Corniche en calcaire fossilifère.

L'assise en question fait césure entre le soubassement et le sarcophage supérieure, et présente à peu près les mêmes altérations que l'obélisque. Pour cette raison, nous renvoyons la description de cet élément au paragraphe dédié à l'obélisque.



Details de la corniche sur le soubassement.

3)– Sarcophage en calcaire fossilifère clair.

Il est constitué de plusieurs blocs en calcaires fossilifères gris clair, presque rose. De chaque côté, dans des tympan plats, se trouvent les reliefs en bronze dont on parlera après.

Dégradations.

Les surfaces sont fortement érodées par les eaux météoriques polluées par le dioxyde de soufre produit par la combustion de produits dérivés du pétrole: celui-ci, en se liant aux eaux météoriques (pluie, humidité, condensation), forme de l'acide sulfurique qui, bien que faible, par des actions répétées (chaque contact avec les surfaces) exerce une action agressive contre les matériaux sensibles tels que les pierres calcaires. Cette action se manifeste par l'érosion des surfaces (perte de brillance, formation de irrégularités, traces profondes de percolation, etc.) et surtout par le dépôt d'une patine constituée essentiellement de sulfate de calcium de couleur claire et plus ou moins tenace selon le lieu de formation.

Une autre conséquence de la sulfatation des pierres c'est la formation de croûtes noires d'une certaine épaisseur dans les zones non lavées par la pluie surtout sous les corniches: la croûte noire se forme à cause de l'accumulation et fixation des petites particules de gypse présentes dans l'air pour diverses raisons, dont la dégradation des pierres calcaires du monument même,



La couche claire (flèche) c'est la pierre sulfatée par les polluants de l'air. Au-dessous la pierre est saine et d'une couleur légèrement plus foncée, selon les zones.



Croutes noires sous les corniches.

et des particules de carbone également produites par la combustion des produits dérivés du pétrole.

Le phénomène de sulfatation s'est donc produit sur toutes les surfaces externes des blocs calcaires du monument en contact avec l'eau. Sur celles du sarcophage dont nous parlons la dégradation est très évidente, mais la surface claire d'origine (gris clair/rose) n'est pas trop changée et maintient l'aspect clair d'origine.

Un autre dommage assez grave, cette fois produit par la main de l'homme, c'est la myriade et l'étendue des ragréages en mortier de ciment foncé réalisés sur tous les joints. Ils sont très résistants, difficiles à enlever et esthétiquement inacceptables. Cependant, ils exercent un pouvoir de maintien des blocs en position, surtout avec les dislocations du côté ouest, qui sont très évidentes.



Récent ragréages en ciment gris très dur, chargé de sable.

Enfin, il convient de noter que toutes les zones situées sous les reliefs en bronze sont teintées de vert en raison des sels de cuivre des panneaux qui entrent en dissolution avec la pluie et, en coulant vers le bas, sont en partie absorbés par les porosités la pierre.



Sels de cuivre vert absorbés par la pierre subjacente.

4)- Reliefs en bronze.

Les 4 grands bas-reliefs en bronze, un par face, sont la seule partie figurée du monument. Ils racontent les gestes héroïques du général Hoche. Ils ont été copiés à partir des originaux en marbre exposés actuellement à Versailles et coulés en 1928.

S'ils ont été coulés à la cire perdue ou au sable, cela pourra être vérifié pendant les travaux de restauration avec un examen plus attentif des surfaces arrières: par l'avant, ce n'est pas possible en raison des finitions de surface qui effacent toutes les traces techniques de traitement, caractéristiques de tout type de technologie. L'épaisseur du bronze des bas-reliefs, mesurée par un petit trou pratiqué sur le cadre pour le prélèvement du métal à analyser, est d'environ 1 cm.

Ils sont coulés en 4 sections verticales plus petites, ensuite soudées entre elles en fonderie pour composer un seul bas-relief, plus facile à manipuler et à monter. Une figure de cheval semble avoir une queue fondue séparément (relief EST): elle est en partie détachée.



Lignes de séparation (soudures) des panneaux en bronze.

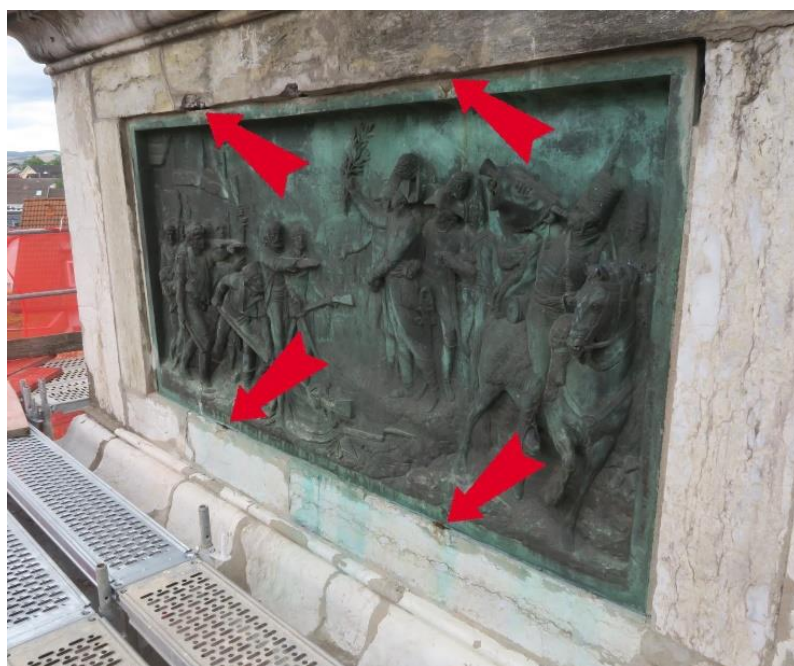


La queue du cheval s'est en partie détachée.

Les reliefs ne furent pas montés en même temps que la construction du monument, en 1797, mais en 1928 ce qui explique le ciment utilisé pour sceller les bords et aussi pour les fixer au mur.

Le démontage d'un ragréage d'angle a montré qu'en correspondance de chaque section d'origine des bas-reliefs il y a une "patte" verticale d'angle d'environ 15 cm de profondeur, dessinée par l'agence Goutal dans son dossier. Le but de leur présence est peut-être d'assurer un meilleur ancrage du relief au fond du monument et de faciliter le soudage en position horizontale entre les 4 sections.

En correspondance des cadres des bas-reliefs il y a des petits supports en fer très corrodés, dont certains se sont complètement érodés. Dans les cas extrêmes, ils ont causé la rupture des bords du cadre en marbre. Ce sont des sortes d'agrafes qui peuvent avoir servi, lors du montage des reliefs, à les maintenir alignés dans une position précise jusqu'au séchage du ciment des bords. Aujourd'hui, si l'on purge les produits de corrosion du fer, ces petits supports n'ont plus aucun pouvoir de maintien.

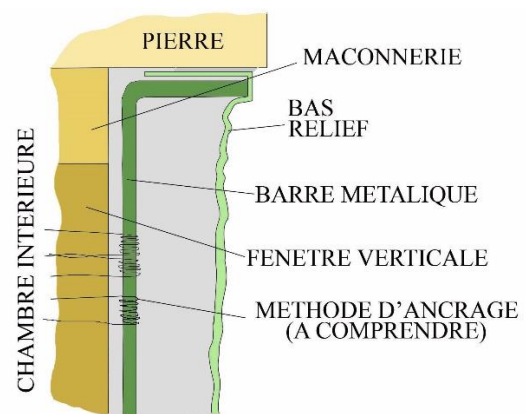


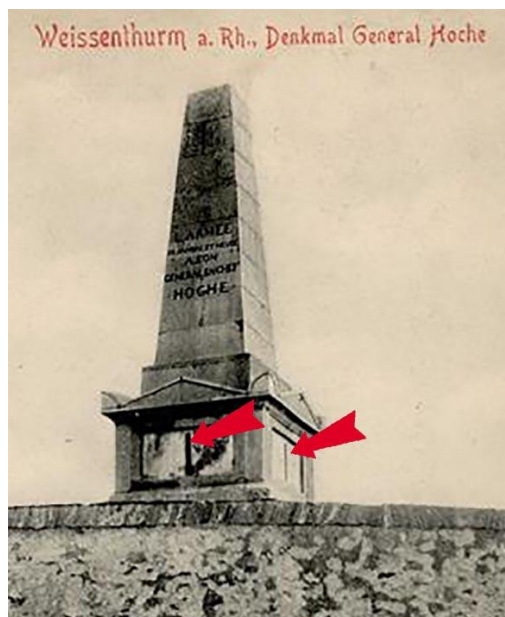
Localisation des agrafes en fer.



Quelques agrafes en fer: elles ne sont plus fonctionnelles à cause de la corrosion.

Une enquête endoscopique très rapide réalisée par nous-mêmes avec un matériel non professionnel, nous a fait remarquer la présence d'une longue barre métallique (bronze?) à l'arrière des bas-reliefs, au centre, en position verticale et sur toute la hauteur.





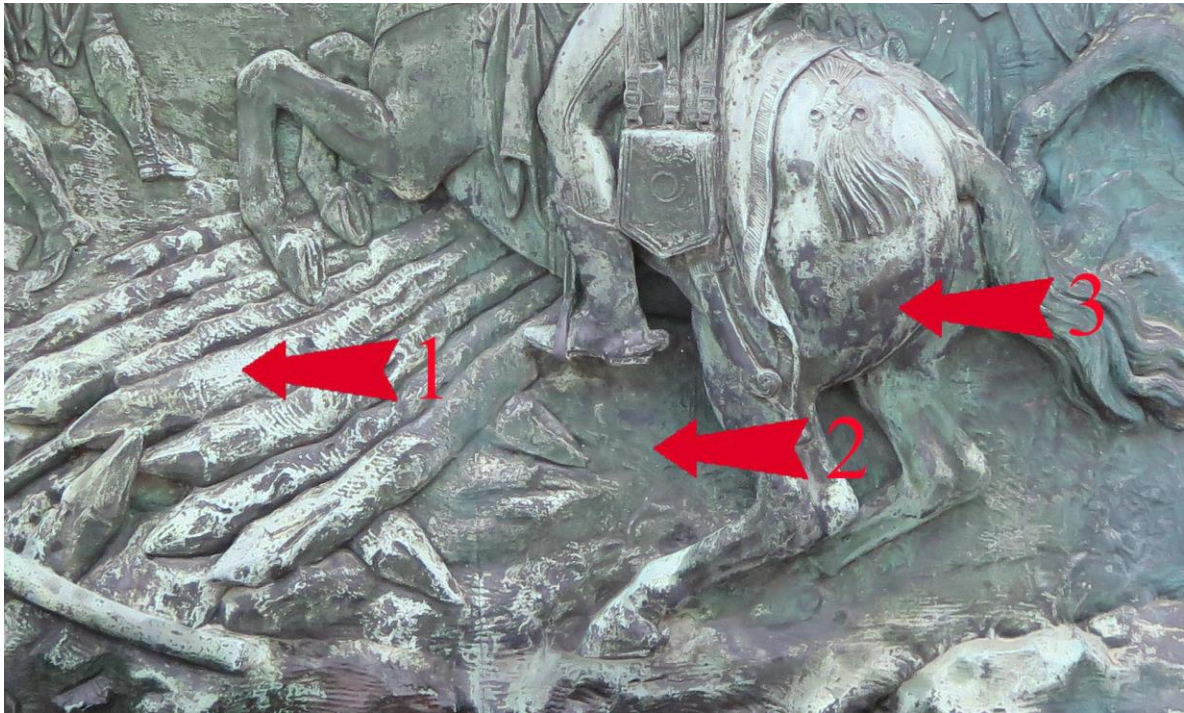
Il pourrait s'agir soit d'un support d'ancrage des reliefs dans leur cadre, réalisé par la fenêtre verticale que l'on aperçoit sur les gravures lorsque le monument était dépourvu de bas-reliefs, soit d'un simple barreaudage fermant les fenêtres. Une vérification pourrait avoir lieu lorsque le vide central du sarcophage, derrière les reliefs sera inspecté quand les petites ouvertures de ventilations supérieures seront dégagées des grilles métalliques actuelles en phase chantier (on pourra y passer un éclairage et une caméra au bout d'une perche). Cette opération sera nécessaire pour vérifier, si possible, le système d'ancrage des bas-reliefs – en notant toutefois qu'il ne devait pas y avoir de fenêtre verticale sur toutes les faces du sarcophage d'après les clichés anciens - et l'état des tirants qui stabilisent le vide sous la charge de l'obélisque.

Dégradation.

Structurellement les reliefs sont en excellent état.

Les surfaces métalliques, en revanche, sont dégradées et esthétiquement très compromises par les produits de corrosion du cuivre. En fait, on y relève trois types principaux de produits de corrosion, de couleur très différente, pour l'identification desquels nous nous référons aux analyses la fin du texte. En résumant, il y a du vert très clair dans les zones de contact de la pluie battante et de ruissellement (sulfates de cuivre et de plomb, dangereux pour la conservation du métal / *numéro 1*), un vert foncé dans les zones plus protégées (toujours des sulfates de cuivre / *numéro 2*) et du noir sous forme de croûtes très tenaces (particules de charbon liées avec les produits de corrosion du métal / *numéro 3*), non reconnaissable aux analyses XRD.

Le brun des patines d'origine et la brillance du métal sont désormais quasiment invisibles.



Le fort contraste chromatique entre le vert clair, le vert foncé et le noir, répartis selon des règles naturelles aléatoires et non figuratives, rend presque illisibles les représentations des reliefs, qui au contraire montrent une grande profondeur d'image, obtenues avec de très petites différences de niveau du relief.

Les causes de cette dégradation, comme ailleurs, sont aussi imputables aux interactions du métal avec l'environnement pollué. Sur les métaux l'acide sulfurique a des effets encore plus dévastateurs que sur la pierre.

5)- Obélisque en calcaire fossilifère sombre.

L'obélisque est la partie architecturale constructive la plus singulière du monument. Il est probablement constitué d'un noyau central en maçonnerie et d'un revêtement en blocs de calcaire sombre. Les joints rapprochés très précis constatés à certains endroits excluent la présence d'un mortier à l'intérieur de ceux-ci. La présence, cependant, de quelques anciennes agrafes en fer façonnées d'une forme particulière, distribuées uniformément sur tous les bords des blocs, suggère un assemblage initial à sec de ces blocs. Il est possible que l'obélisque ait été construit du bas vers le haut, par niveaux, chacun délimitée par les rangées des dalles, comme illustré dans le schéma qui suit et selon les phases suivantes:

- 1) placement à sec d'un niveau de dalles;
- 2) disposition des agrafes en fer;
- 3) remplissage de l'espace vide derrière les dalles avec de la maçonnerie, jusqu'au niveau légèrement au-dessous du bord supérieur;
- 4) même technique pour le niveau supérieur, jusqu'au sommet.

Sur le côté nord, il y a l'inscription commémorative réalisée avec des grosses lettres en bronze, actuellement de couleur noire.

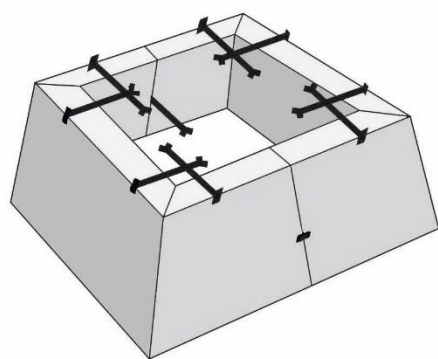
Dégradations.

L'obélisque est la partie la plus dégradée du monument, tant du point de vue structurel, qu'esthétique.

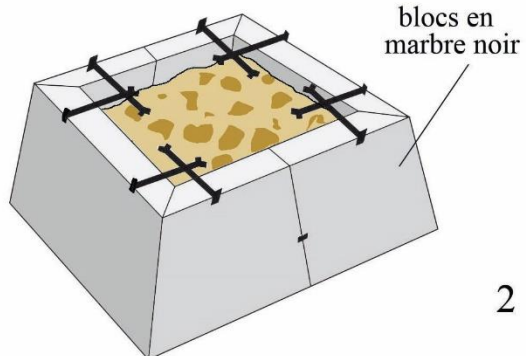
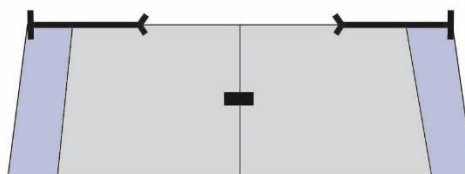
Nous avons deux formes principales de dégradation:

- 1)- le déplacement de nombreux blocs du revêtement extérieur, notamment du côté ouest ;
- 2)- l'altération chromatique des surfaces.

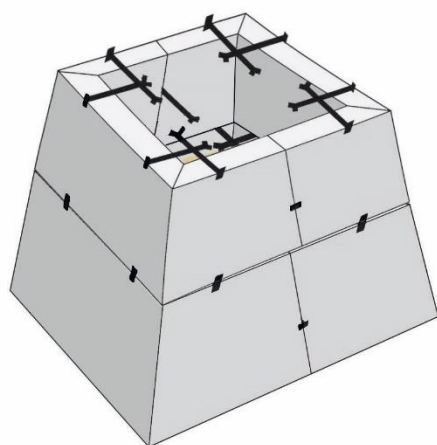
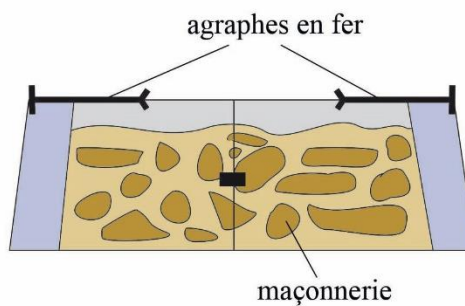
Le déplacement des blocs est assez évident, à tel point que dans un passé récent (années 1980 ?), ayant constaté un danger d'effondrements, un grand nombre de consolidations systématiques ont été effectuées en insérant des goujons en inox (tige de 8 mm) entre diverses fissures et un grand nombre de barres filetées de 12 mm sur les bords d'angle de l'obélisque.



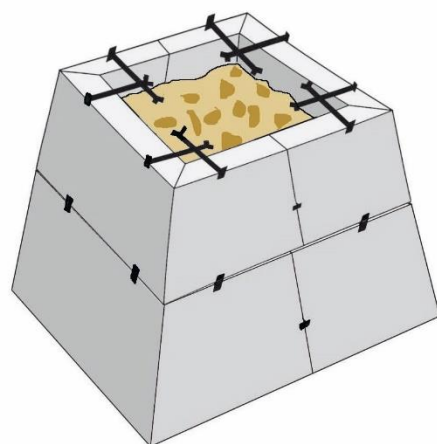
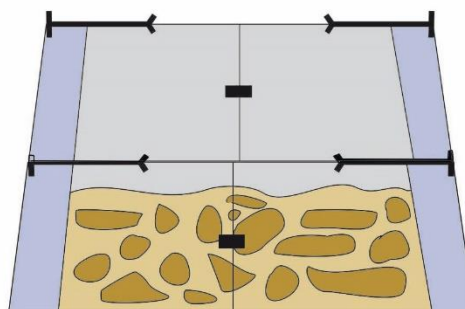
1



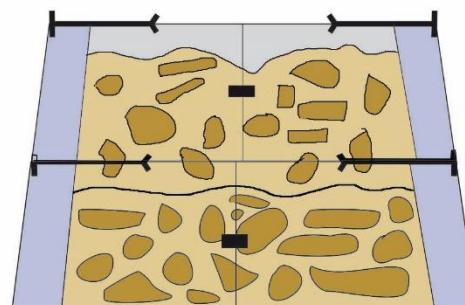
2



3



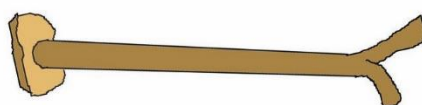
4



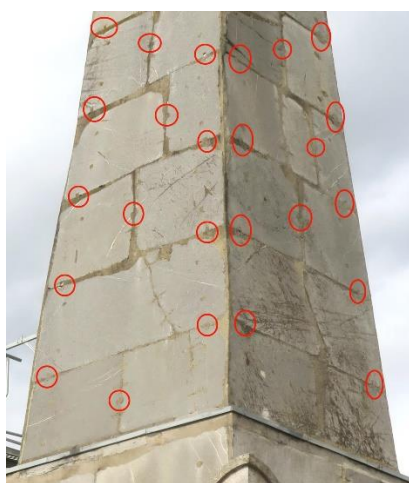
HIPHOTESE SUR LE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DE L'OBELISQUE

Les ragréages de ciment sont tous contemporains des consolidations précitées et participent à la fixation des blocs.

Le détachement des blocs du fond maçonné pourrait être causé par trois facteurs qui ont agi ensemble: la corrosion des agrafes d'ancrage en fer d'origine qui ont partiellement perdu leur fonction d'ancrage, l'expansion de leurs produits de corrosion à l'arrière qui, en poussant, les a déplacées en créant des espaces vides en favorisant les infiltrations d'eaux pluviales par le dessus et par les joints désormais ouverts. Sûrement, dans les espaces arrière il y aura des accumulations détritiques du noyau central en maçonnerie, qui empêchent le repositionnement sans démontage.



Typologie d'agrafe de l'obélisque. La partie intérieure au monument est, dans ce dessin, seulement une hypothèse. En bas, trois de ces agrafes dont on voit seulement les têtes.



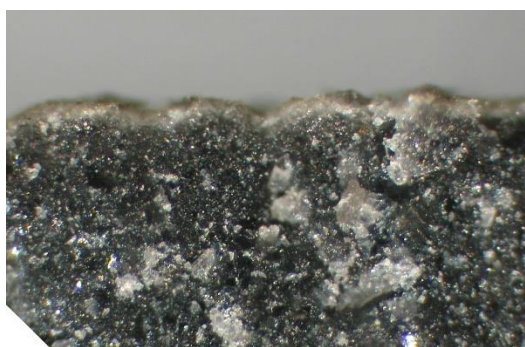
Localisation des agrafes.

Hormis les imperfections des blocs disloqués et les nombreux joints inesthétiques en ciment, l'obélisque avec ces nouvelles interventions à l'heure actuelle semble stable – sous réserve de la tenue des tiges de scellement rapportées.

D'un point de vue esthétique, cependant, l'état des surfaces est très compromis: la sulfatation de la pierre, qui s'est produite pour les mêmes raisons décrites dessus, a formé ici une couche tenace et particulièrement visible de sulfates gris clair qui altère complètement les équilibres chromatiques d'origine du monument. Les blocs de pierre qui composent l'obélisque n'avaient à l'origine pas la couleur grise qu'on voit actuellement, mais ils étaient presque noirs et ils étaient probablement poncés pour être plus brillants.



Marbre noir sous la couche sulfatée.



Le marbre vue au microscope, en section: la couche a une épaisseur de quelques dixièmes de millimètre.



Un essai de ponçage localisé de la surface.

En confirmation de cette hypothèse, les lettres étaient en bronze doré pour se détacher d'un fond sombre, comme témoignent certains essais de nettoyage, et non comme elles se présentent maintenant, peintes de noir.



Les lettres en bronze doré, actuellement recouverte d'une teinte noire très tenace.



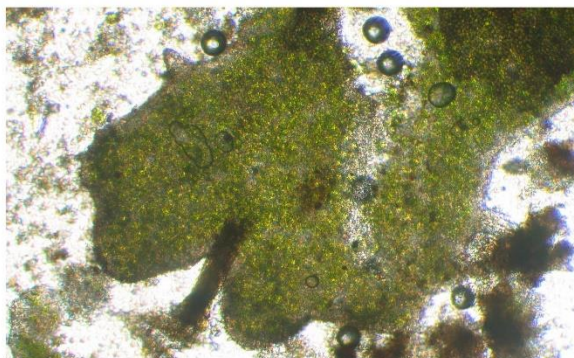
A gauche la situation actuelle, à droite un rendering des couleurs d'origine.

Outre la sulfatation des surfaces (forme de dégradation qui altère les valeurs chromatiques d'origine), les joints de ciment grossièrement exécutés, les agrafes et tiges de scellement rapportées, les lettres de bronze doré repeintes en noir, une autre dernière forme évidente de dégradation est la diffusion de micro-organismes (algues, cyanobactéries, lichens et mousses) plus ou moins répartis sur toutes les surfaces, qui érodent la pierre et altèrent davantage l'aspect des surfaces.

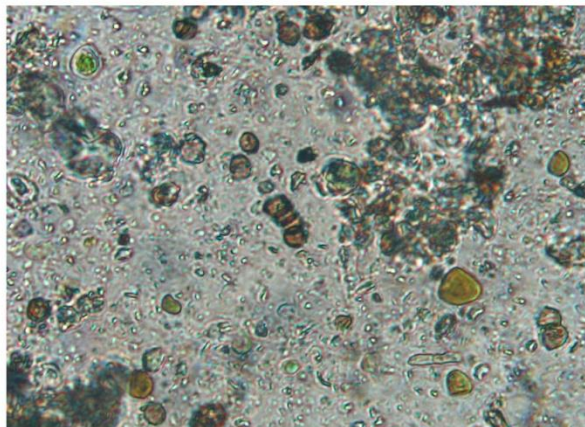
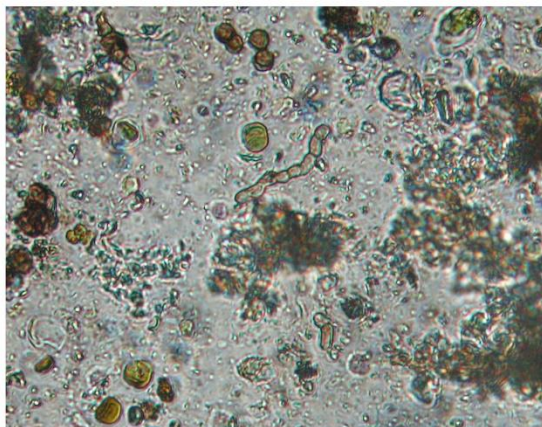
Micro-organismes sur les surfaces du monument.



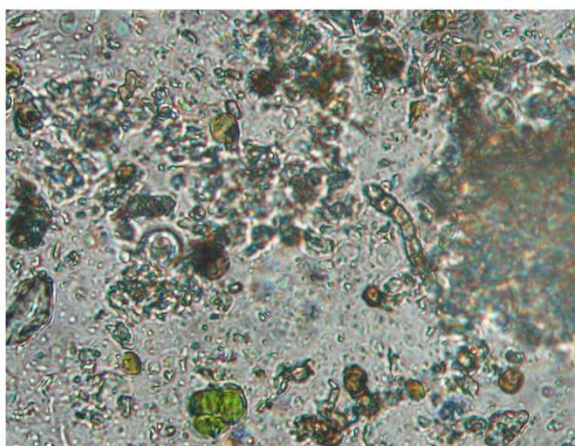
Patine sombre des micro-organismes.



Masse de micro-organismes, vue au microscope, répandue sur toutes les surfaces mouillées par la pluie. X 60



Algues et cyanobactéries au microscope. X 125



Algues et cyanobactéries au microscope. X 125



Lichens, répandus dans de nombreuses zones du monument.

6) - Fers de la chambre funéraire.

Dans le couloir d'accès (dromos) et dans la chambre funéraire elle-même il y a divers éléments en fer: la grille d'accès au "dromos", la porte blindée (actuellement ouverte et verrouillée dans cette position par l'oxydation des charnières), la grille d'accès à la chambre funéraire, les supports des drapeaux et les grilles des fenêtres extérieures. L'état des grilles est passable, cependant celui de la porte blindée et des porte-drapeaux est si mauvais que certaines pièces métalliques se sont gonflées et détruites à cause de la corrosion. Les seules interventions réalisées jusqu'à présent semblent être quelques repeints sporadiques à l'émail noir brillant qui n'a pas pu faire grand-chose contre la corrosion intense qui se développe dans cet environnement perpétuellement saturé d'humidité.





PROPOSITIONS D'INTERVENTION.

Le travail de restauration du monument relèvera de deux compétence distinctes: celle des maçons spécialisés en monuments historiques (consolidation ou repositionnement de blocs disloqués, ponçage ou sablage des surfaces, remplacement ou restauration des éléments en fer dans la chambre funéraire), l'autre pour des restaurateurs qualifiés (élimination des ragréages en ciment, création de nouveaux ragréages en mortier coloré à base de chaux, restauration des bronzes, dorure des lettres).

1) - Soubassement en basalte noir.

Structure.

En ce qui concerne la dislocation des blocs, les seules interventions possibles sont :

- Repositionner, après les avoir démontés, les blocs éventuellement disloqués.
- ou - les laisser dans leur position actuelle et injecter un mortier adhésif spécifique (Ledan) dans les espaces vides derrière.

Surface.

Les surfaces sont en excellent état car les blocs sont de nature siliceuse, un matériau qui ne peut pas être attaqué par les agressions acides de l'atmosphère. Un lavage énergétique au Karcher suffira à éliminer les divers dépôts de salissures; à prévoir aussi l'éventuel ragréage des joints perdus avec un mortier à base de à base de chaux ou la réfection complète des joints.

2) - Cadre en calcaire fossilifère sombre.

Structure.

- Repositionner, après les avoir démontés, les blocs éventuellement disloqués.
- ou - Laisser les blocs dans leur position actuelle et les consolider, seulement ceux éventuellement disloqués, avec des minces goujons (8 mm de diamètre) en acier inoxydable ou en fibre de verre insérées transversalement pour les lier entre eux et au même temps à l'arrière avec le noyau central en maçonnerie. Injecter un mortier adhésif spécifique (Ledan) dans les espaces vides derrière provoqué par les dislocations.

Surface.

- 1) - Lavage au Karcher pour éliminer tous les résidus de micro-organismes.
- 2) - Poncer ou sabler les surfaces exposées des blocs pour leur restituer la couleur noire d'origine, en prenant soin de ne pas endommager les surfaces environnantes.
- 3) - Laisser les surfaces dans leur état actuel et appliquer d'abord un biocide, ensuite une protection de surface adéquate (hydrofuge).

3) - Sarcophage en calcaire fossilifère clair.

Structure.

Pour ce qui concerne la disposition actuelle des blocs disloqués, les seules interventions possibles sont:

- Les remettre en position, après les avoir démontés.
- ou - Laisser les blocs dans leur position actuelle et les consolider avec des goujons (12 mm de diamètre) en acier inoxydable ou en fibre de verre insérées transversalement pour les lier entre eux et au même temps à l'arrière avec le noyau central en maçonnerie. Injecter un mortier adhésif spécifique (Ledan) dans les espaces vides derrière formée par les dislocations.

Surface.

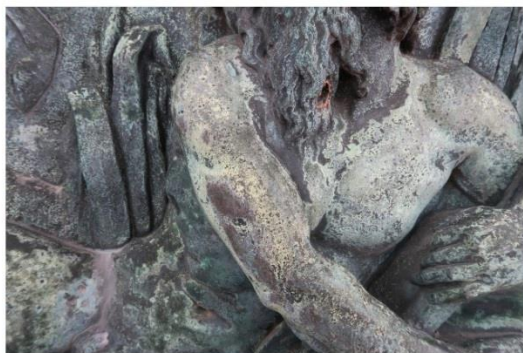
- 1) - Lavage au Karcher pour éliminer tous les résidus des micro-organismes. Poncer (les moulures rendent très difficile cette opération) ou micro-sabler les surfaces exposées des blocs pour restituer la couleur d'origine gris clair / rose, en prenant soin de ne pas endommager les surfaces environnantes.
- 2) - Retirer superficiellement les anciens ragréages de ciment (environ 1 cm de profondeur).
- 3) - Eliminer les sels de cuivre absorbés dans la pierre avec des compresses répétées de pâte à papier ou de sépiolite avec une solution d'E.D.T.A. dissous dans l'eau 5%. Lors de cette opération, les reliefs en bronze doivent être BIEN PROTÉGÉS du contact avec les compresses, avec du ruban adhésif ou des bâches de plastique.
- 4) - Création de nouveaux joints avec un mélange coloré à base de chaux hydraulique mélangée à des poudres de marbre colorées.
- 5) - Application d'une protection de surface (hydrofuge).

4) - Reliefs en bronze.

Les reliefs en bronze, étant la seule partie finement figurée, nécessitent donc des opérateurs spécialisées dans la restauration artistique, surtout compétents dans la restauration des bronzes.

- 1) - Nettoyage mécanique manuel des surfaces pour éliminer sélectivement les produits de corrosion pulvérulents (sulfates et chlorures de cuivre): l'opération doit être effectuée avec des brosses à poils synthétiques doux ou à minces poils en fer selon les besoins, éventuellement à l'aide de micromoteurs. La couleur vert clair devra être en grande partie éliminée, comme tous les autres produits de corrosion pulvérulents; les croûtes noires devront être légèrement réduites d'épaisseur au scalpel, mais pas totalement éliminés parce que non particulièrement nocives et parce-que généralement elles ne conservent aucune

patine noble au dessous. Les contrastes de couleurs seront tous atténués par des traitements de protection qui suivront.



Essais de nettoyage et de traitement de quelques surfaces des reliefs en bronze.



- 2) - Lavage des surfaces à l'eau déminéralisée, brosses et éponges pour éliminer la plupart des sels solubles.
- 3) - Traitement inhibiteur de corrosion au Benzotriazole dissous au 1,5% dans d'alcool éthylique. Ainsi, se formera sur les surfaces une sorte de patine de produits d'altération plus stables et résistants aux agressions chimiques de l'environnement. Les surfaces doivent être maintenues humides avec cette solution pendant au moins une demi-heure, en passant plusieurs fois le pinceau. Les excès recristallisés de Benzotriazole en surface, après avoir attendu environ 3 jours, seront éliminés avec des rinçage à l'alcool éthylique. ATTENTION AUX OPERATEURS car cette substance est toxique: prendre donc toutes les précautions nécessaires.
- 4) - Jointoiement des fissures, notamment celle autour de la queue de cheval du relief sud, avec un mélange coloré à base de résine époxy et de terres naturelles colorées.
- 5) - application d'une protection de surface constituée d'une première couche d'INCRALAC non dilué (résine acrylique + Benzotriazole), et d'une seconde de cire microcristalline RESWAX dissoute au 20% dans le White Spirit.

5) - Obélisque en calcaire fossilifère gris foncé, presque noir.

Structure.

En ce qui concerne la disposition actuelle des blocs disloqués, les seules interventions possibles sont :

- Repositionner, après les avoir démontés, les blocs disloqués. Pour repositionner les blocs inférieurs dans la bonne position, il faudra retirer tous les blocs supérieurs : c'est une intervention invasive mais qui permettrait de vérifier et consolider le corps de maçonnerie de l'obélisque qui a subi beaucoup d'infiltrations, très probablement des décollements de maçonneries (derrière le parement) et des consolidations métalliques et au ciment peu ou pas du tout appropriées. Elle permettrait de corriger les ouvertures des joints des arêtes très gênantes (qui ont été provoquées par le pivotement ou le glissement des carreaux de parement).
- ou - Intégrer la consolidation précédente (qui semble encore efficace) avec des autres goujons en acier inoxydable ou en fibre de verre (12 mm de diamètre), insérées transversalement pour les mieux les lier entre eux et au même temps les fixer à l'arrière avec le noyau central en maçonnerie. Injecter un mortier adhésif spécifique (Ledan) dans les espaces vides derrière provoqués par les dislocations.

Surface.

- 1) - Retirer superficiellement les anciens ragréages en ciment (environ 1 cm de profondeur).
- 2) - Poncer ou sabler sur place des surfaces exposées des blocs pour restituer la couleur noire d'origine.

- 3) - Lavage avec Karcher pour éliminer tous les résidus de micro-organismes, laissant la couleur des surfaces telle qu'elle est actuellement.
- 4) - Création de nouveaux joints avec un mortier à base de chaux hydraulique et poudres de marbre colorées.
- 5) - Application d'une protection de surface adaptée (hydrofuge).

En cas de ponçage il faudra d'abord enlever les lettres en bronze, les décaper de la peinture noire, les redorer, enfin les remonter. Le décapage et la dorure pourraient aussi se faire sur place, sans démonter les lettres, mais le ponçage ne peut pas se faire sans démonter les lettres.

6)- Eléments en fer de la chambre funéraire.

Ces éléments doivent tous être nettoyées des vieilles peintures avec un décapant à la gélatine, traités avec un convertisseur de rouille (FERTAN ou autre), repeints avec une première couche de peinture antirouille rouge au minium (au solvant, pas un émail à base d'eau) ensuite avec un émail toujours au solvant, de brillance et de couleur à choisir en cours d'œuvre en accord avec la Direction des Travaux.

Certaines parties métalliques de la porte blindée devront être remplacées par de nouvelles car elles sont trop corrodées. Les porte-drapeaux devraient également être complètement remplacés car ils sont aussi trop corrodés, peut-être par des neufs en acier inoxydable.

Carlo Usai



**Indagini XRF ed XRD su campioni consegnati dalla
committenza**

**ANALYSES DU BRONZE et
ANALYSES DES PATINES DES BRONZES**

Introduzione

Su commessa del restauratore Carlo Usai sono stati analizzati due campioni in forma di polvere ed uno in forma di micro frammenti.

Le indagini sui frammenti di materiale metallico tramite XRF hanno avuto lo scopo di definire la composizione percentuale degli elementi maggioritari e minoritari e la determinazione degli materiali in traccia.

Le indagini sulle polveri tramite XRD hanno avuto lo scopo di determinare i prodotti di corrosione, in fase cristallina, presenti nella patina di origine delle polveri.

I campioni analizzati sono stati consegnati al laboratorio senza informazioni sulla loro origine.

Il rapporto è composto da otto pagine compresa la copertina.

Risultati

Indagini XRF su micro frammenti di metallo. ANALYSE DU BRONZE

Di seguito si riporta la tabella con la composizione percentuale della lega analizzata.

Per valori percentuali maggiori del 20 per cento l'errore percentuale associato è il 2 per cento.

Per valori percentuali compresi tra 5 e 19 per cento l'errore percentuale associato è il 10 per cento.

Per valori percentuali minori del 5 per cento l'errore percentuale associato è il 20 per cento.

Tabella I, composizione percentuale della lega analizzata

Elemento	Valore percentuale
Cu	84,5
Zn	14,0
Sn	1,0
Pb	0,5
Fe	tr

Di seguito si riporta l'immagine dello spettro X con l'asse delle Y (conteggi) in scala logaritmica per accentuare la visibilità dei picchi minori.

IL S'AGIT DE LAITON.

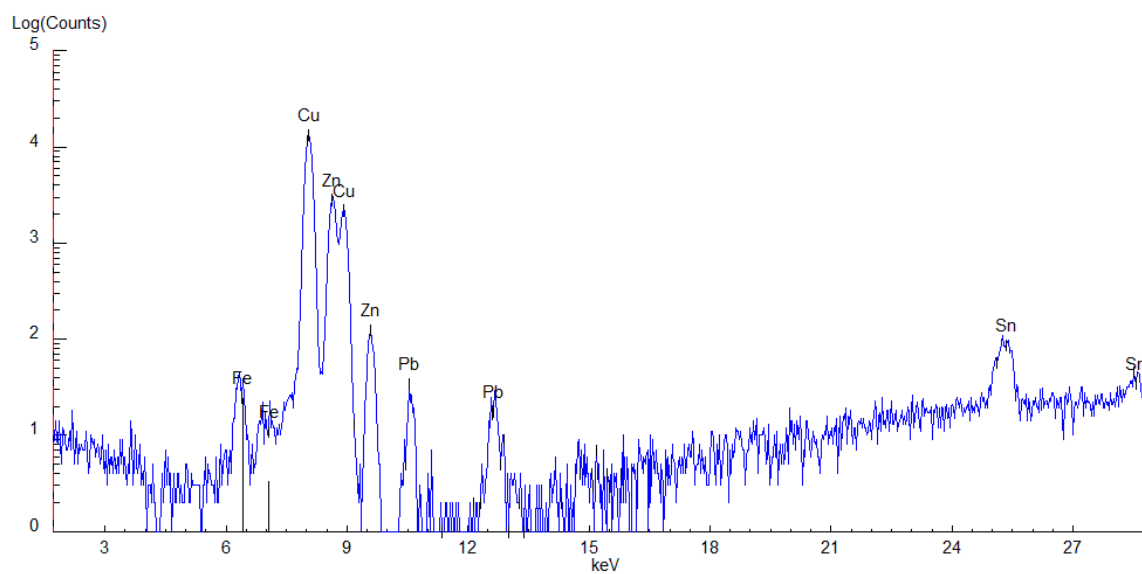


Figura 1, spettro XRF

Indagini XRD su prodotti di corrosione.

Sigla campione: **1**
Descrizione campione: Polvere di colore verde chiaro (**PATINE VERT CLAIR**).
Descrizione prova e metodo analitico: Analisi diffrattometrica ai raggi X (XRD) per il riconoscimento delle fasi cristalline secondo UNI EN 13925-2:2006.

RISULTATI ANALITICI

Specie mineralogica	Stima di abbondanza relativa*	Metodo di prova
Anglesite PbSO_4	+++	UNI EN 13925-2: 2006
Brochantite $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	+++	UNI EN 13925-2: 2006
Barite (BaSO_4)	+++	UNI EN 13925-2: 2006

dove i simboli stanno per:

+++	Componente principale	+	Componente presente in piccola quantità
++	Componente presente in quantità media	tr	Componente presente in tracce
* Dati indicativi e soggetti ad elevati margini di errore nel caso di argille, fillosilicati e zeoliti.			

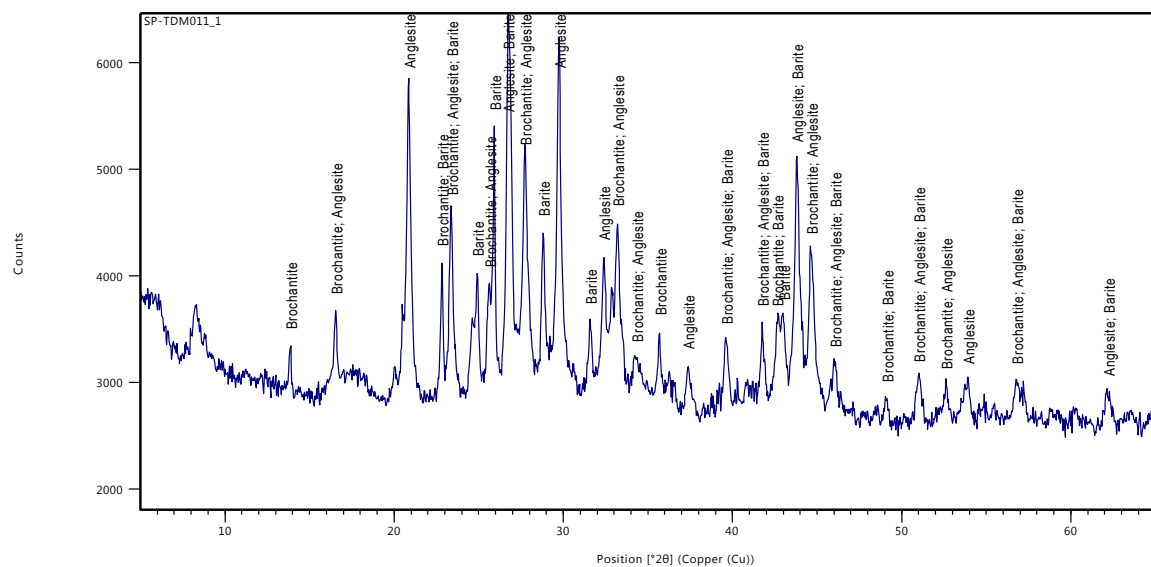


Figura 2, Spettro XRD del campione 1

Sigla campione: **2**
 Descrizione campione: Polvere di colore verde scuro (**PATINE VERT SOMBRE**).
 Descrizione prova e metodo analitico: Analisi diffrattometrica ai raggi X (XRD) per il riconoscimento delle fasi cristalline secondo UNI EN 13925-2:2006.

RISULTATI ANALITICI

Specie mineralogica	Stima di abbondanza relativa*	Metodo di prova
Antlerite $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$	+++	UNI EN 13925-2: 2006
Brochantite $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	+	UNI EN 13925-2: 2006

dove i simboli stanno per:

+++	Componente principale	+	Componente presente in piccola quantità
++	Componente presente in quantità media	tr	Componente presente in tracce
* Dati indicativi e soggetti ad elevati margini di errore nel caso di argille, fillosilicati e zeoliti.			

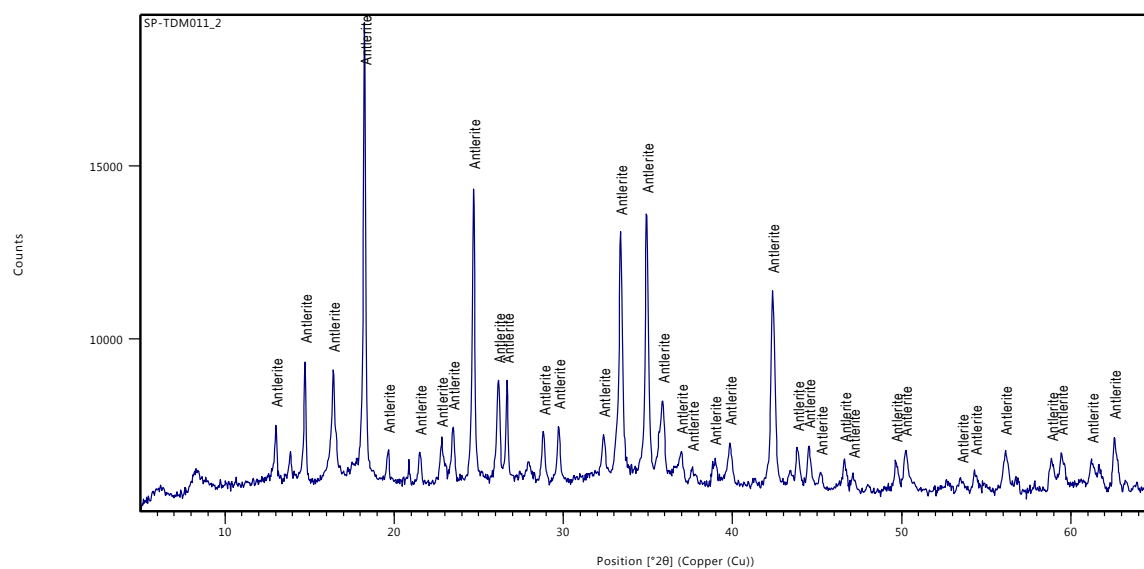


Figura 3, Spettro XRD del campione 2

Roma, 18/07/2021

Stefano Ridolfi