

CARTOGRAPHIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE ET PALÉOCHENNAUX FLUVIATILES EN MILIEUX PROFONDÉMENT MODIFIÉS PAR LES SOCIÉTÉS. L'EXEMPLE DU PORT FLUVIAL ANTIQUE D'AQUILÉE DANS LA PLAINE DU FRIOUL (ITALIE SEPTENTRIONALE, ADRIATIQUE)

Isabelle SICHÉ*, Emanuele FORTE**, Alessandro PRIZZON**, Gilles ARNAUD-FASSETTA* et Monique FORT*

* Université Denis-Diderot Paris VII ; UMR 8586 CNRS-PRODIG

* Università degli studi di Trieste ; facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali
DISGAM ; GGE

RÉSUMÉ

Sur le site antique d'Aquilée, la cartographie des paléochenaux fluviaux est rendue difficile en raison de l'effacement partiel des formes de relief par l'action anthropique. Seule une approche multicritères reposant sur des données biomorphosédimentaires et le traitement d'images a permis de dresser une carte du réseau hydrographique au 1/5000ème. Dans la plaine deltaïque, plusieurs bourrelets alluviaux ont été repérés par interprétation d'un MNT et d'une composition colorée Landsat. Sur le site archéologique, les tracés fluviaux ont été extraits d'une composition Landsat de 3 néo-canaux élaborée avec un algorithme de type NDVI, qui permet de discriminer les différents degrés d'humidité des sols. Les paléoliths fluviaux ont ensuite été validés par un MNT laser à haute résolution, par des relevés tomographiques et par l'analyse sédimentologique et paléontologique de carottes profondes. En complément, des sondages électriques ont précisé la géométrie des formations alluviales, là où la couverture végétale limitait l'usage de la photo-interprétation. Enfin, les conclusions paléohydrographiques auxquelles aboutissent les paléoenvironnementalistes ont été confrontées aux données archéologiques, afin d'intégrer les modifications artificielles de tracés et de valider certaines hypothèses chronologiques qui restaient encore mal étayées par les datations radiométriques. Ainsi, sur la plaine côtière, les paléochenaux de l'Isonzo se distribuent en éventail et leurs ramifications se multiplient à mesure que la pente diminue. L'une des branches fluviales atteignait le port d'Aquilée mais à l'Antiquité, le port est drainé par le seul Torre. L'Isonzo et le Torre (aujourd'hui son affluent) ont donc connu par le passé un fonctionnement diachrone.

ABSTRACT

On the archaeological site of Aquileia, mapping palaeochannels is a complicated task owing to the cancellation of fluvial landforms by anthropogenic actions. A multicriteria approach based on bio-morphosedimentary data and imagery analysis allowed us to draw the map of the hydrographical network during Roman antiquity. In the plain of Aquileia, several alluvial ridges were reconstructed from the interpretation of a DTM and a Landsat false colour composition. On the

archaeological site, riverbeds were extracted from a composition Landsat of 3 neo-canals elaborated with a NDVI algorithm, which sorts out various degrees of soil moisture. Then palaeo-riverbeds were validated by a high-resolution laser DTM, by tomographic data and by sedimentological and palaeontological analyses of deep cores. In addition, electric soundings were used to determine the geometry of the alluvial deposits, when the vegetation cover forbade the use of the photo-interpretation. Finally, the palaeo-hydrographical conclusions deduced from palaeoenvironmental analysis were subjected to the criticism of the archaeologists, with the aim to integrate the artificial modifications of hydrographical network, and to validate some chronological hypotheses which radiometric dating have nor been able to answer. In the end, we retrieved the Isonzo paleoridges which spread out on its megafan and its ramifications increase with each floodplain break slope. One of them reaches Aquileia, but the antique harbour was crossed by the Torre alone. The river and its tributary had indeed undergone a diachronic evolution.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf dem antike Standort der Aquilée gestaltet sich die Kartierung alter Abflussrinnen schwierig, da die Reliefformen teilweise durch menschliche Einwirkung verschwunden sind. Nur ein multidimensionaler Ansatz basierend auf bio-morphologisch sedimentären Daten sowie auf Luftbildauswertung hat es ermöglicht, eine hydrographische Karte im Maßstab 1:5000 zu erstellen. In der Ebene des Deltas konnten durch Auswertung eines Digitalen Geländemodells (DGM) und einer farbigen Landsat-Szene mehrere alluviale Abdichtungen lokalisiert werden. Die historischen Flußbette wurden nach Auswertung von Satellitenbildern auf Grundlage eines hochauflösenden Laser-DGM sowie durch sedimentologische und paläontologische Analysen tiefer Bohrungen validiert. Ergänzend wurden die geometrischen Merkmale der alluvialen Formen mittels elektrischer Sondierungen präziser bestimmt. Dies geschah in jenen Bereichen, in denen die Vegetationsbedeckung den Einsatz der Foto-Interpretation beschränkte. Schließlich wurden die paläohydrographischen Befunde mit den archäologischen verglichen, um so die künstlichen Veränderungen der Wasserläufe zu ermitteln und verschiedene chronologische Hypothesen zu validieren, die von den radiometrischen Datierungen bisher unzureichend gestützt wurden. Die historischen Rinnen des Isonzo in der Küstenebene verteilen sich demnach fächerartig, und ihre Verzweigungen vervielfachen sich mit abnehmendem Gefälle. Einer der Flussarme erreichte den Hafen von Aquilée, aber in der Antike wurde der Hafen nur vom Torre (heute ein Zulauf des Isonzo) bewässert. Beide hatten in der Vergangenheit also eine diachrone Funktionsweise.

Depuis fort longtemps et à l'Antiquité en particulier, les lobes deltaïques du pourtour méditerranéen ont été les lieux privilégiés de l'implantation humaine (Arnaud-Fassetta et Landuré 2003 ; Fontana 2004). Mais les différentes interventions humaines sur le milieu (bonification, détournement/fermeture de cours d'eau, développement urbain, aménagements portuaires) ont bouleversé parfois très profondément les formes de relief, les formations superficielles, la structure et le fonctionnement des réseaux hydrographiques pré-existants. La morphologie des plaines côtières, par essence déjà très discrète, est donc malaisée à percevoir du fait des effets de l'anthropisation historique. La plaine du Frioul, objet de la présente étude, n'échappe pas à cet état de fait.

Situé à l'aval d'un piedmont construit par la coalescence de plusieurs cônes de déjection, la plaine du Frioul est drainée par deux principaux fleuves, le Tagliamento et l'Isonzo, dont les bassins versants s'inscrivent dans les terrains sédimentaires et métamorphiques des Alpes Juliennes et Carniques (fig. 1). Ces fleuves et leurs affluents, au régime hydrologique de

type torrentiel, voient leur débit considérablement diminuer suite à la perte d'une partie des écoulements fluviaux à travers des dépôts sablo-graveleux très perméables. Vers l'aval, ces eaux réapparaissent à la faveur d'une ligne de résurgence d'orientation NW/SE, qui alimente de petits fleuves côtiers dont les tracés reprennent en partie ceux de vieux chenaux aujourd'hui abandonnés. Le port fluvial d'Aquilée, fondé en 181 av. J.-C., a été construit à la rencontre du cône torrentiel du Torre et de l'Isonzo. Les quais romains de la ville sont aujourd'hui baignés par les eaux d'un cours d'eau de résurgence, la Natissa, dont le débit moyen ne dépasse pas 3 m³/s. Ce débit est sans commune mesure avec celui du fleuve antique, dont les structures portuaires précisent que le chenal mesurait jusqu'à 48 m de large (Carre et Maselli Scotti 2001). Le bras fluvial du port romain était certainement intégré au bassin-versant de l'Isonzo ou à celui de ces deux principaux affluents, le Torre et la Natisone, mais son tracé précis reste mal connu et les textes antiques, ici, ne sont pas assez explicites : Plinie l'ancien, au I^{er} siècle ap. J.-C., précise uniquement que seuls les affluents Torre et Natisone alimentaient ce chenal (Carre 2005 ; Vedaldi lasbez 1994). Par la suite, nombreuses ont été les tentatives de reconstitution du réseau hydrographique sur le site archéologique (Comel 1932 ; Schmiedt 1979). Basées sur les seules données topographiques et pédo-sédimentologiques, ces études avancèrent notamment l'hypothèse selon laquelle une branche du système Torre-Natisone alimentait le chenal portuaire, le point de défluviation (avulsion) devant alors se situer en amont de la ligne de résurgence, en rive droite de l'actuel Torre. Plus récemment, l'analyse sédimentologique de plusieurs carottes profondes (projet SARA) confirme la présence d'un ou plusieurs bras fluviaux de forte énergie à proximité du site archéologique (Maselli Scotti et al. 1999 ; Carre et Maselli Scotti 2001 ; Arnaud-Fassetta et al. 2003 a et b ; Carre et al. 2003 ; Carre 2005).

A partir d'une cartographie hydrogéomorphologique étayée par le traitement d'images (photo-interprétation de clichés aériens verticaux, d'images satellitales, SIG) et par des calculs topographiques extraits d'un modèle numérique de terrain (MNT), l'objectif de cet article est de montrer comment l'hydrographie du port romain d'Aquilée se raccordait au bassin-versant isontin.

1. - MÉTHODES D'ÉTUDE

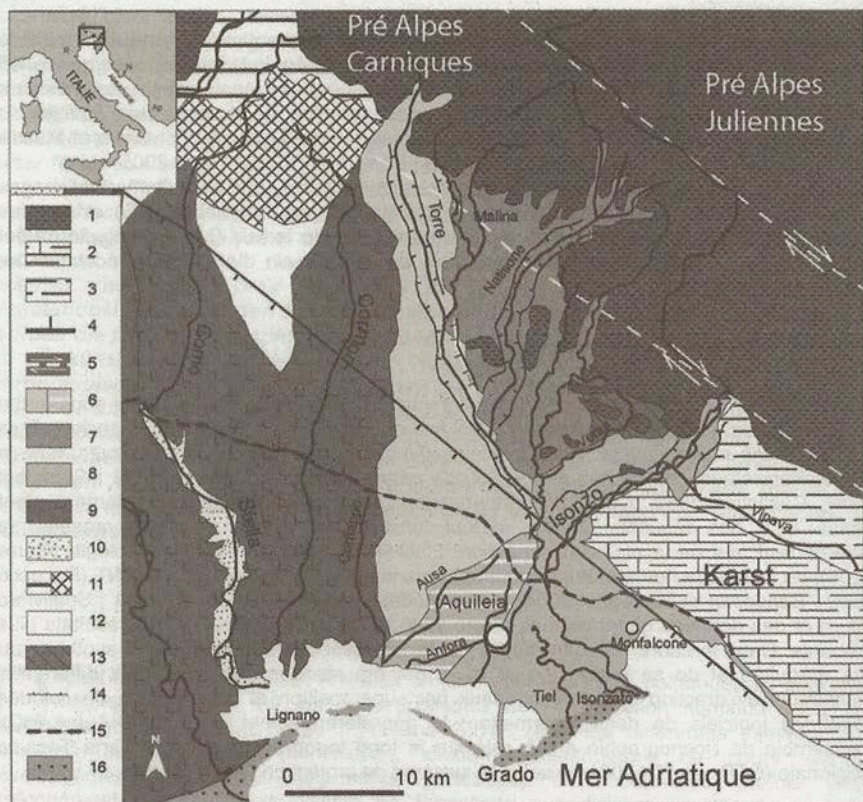
La démarche multicritères est considérée comme la plus efficace pour restituer sous forme cartographique, et dans une métrique aussi fine que possible, la position des anciens bras fluviaux d'une plaine côtière. Dans la plaine d'Aquilée, les techniques classiques, telle la photo-interprétation de clichés aériens ou de cartes historiques (Comel 1932 ; Schmiedt 1979 ; Castiglioni 1992 ; Olivo 1993 ; Bondesan et Meneghel 2004), prises isolément, n'ont abouti qu'à des résultats limités, surtout lorsque les levées alluviales arasées se différencient mal de la plaine d'inondation. L'utilisation combinée de l'archéologie (Carre 2005), de l'imagerie numérique permettant l'accentuation des formes via un MNT (Pocecco 1999 ; Bondesan et Meneghel 2004), de la télédétection (Fouache et al. 2001 ; Spaliviero 2003) et des données géophysiques (Forte 1996) ont permis d'apporter des résultats plus probants. Dans le cadre de cette étude, les cartes paléohydrographiques de synthèse du site d'Aquilée et de sa région (fig. 2 et 4) ont été réalisées en combinant différentes techniques d'extraction des paléochenaux par superposition et combinaison de calques avec des logiciels de dessin permettant le géoréférencement (Arcview®, AutoCad®). L'ensemble de l'iconographie a été calé sur le fond topographique de la Carta Tecnica Regionale (CTR) au 1/25000ème selon le système de projection Gauss-Boaga.

1.1. - L'extraction des paléochenaux fluviaux dans la plaine d'Aquilée

Les paléochenaux situés au-dessus de la ligne de résurgence, souvent soulignés par le parcellaire, sont encore visibles sous la forme de lobes de méandres relictuels. Leur extraction s'est faite par lecture stéréoscopique des missions topographiques IGM de 1990 mais également de 1954 et de 1938 qui, outre leur excellent piqué, furent entreprises avant l'extension urbaine et la destruction des structures agraires traditionnelles par les remembrements. Les cartes historiques, et les documents d'archives en général, ont été

peu utiles. En effet, les documents les plus anciens ne permettent pas de remonter au-delà du XVIème siècle, période où la configuration du réseau était déjà quasi identique à l'actuel. Par ailleurs, afin de vérifier si la texture des dépôts sédimentaires correspondait ou pas à des levées de berge, nous avons élaboré un modèle numérique de terrain (MNT) intégrant une marge d'erreur altitudinale de 10 cm. Suivant la méthodologie appliquée par Poccecco (2000), le MNT a été construit en utilisant la triangulation de Delaunay sous Surfer© 8.0, à partir des points cotés de la CTR (couche 1000PQ) au 1/5000ème et des relevés effectués par aérophotogrammétrie (fig. 3). Après avoir superposé la composition en fausses couleurs au MNT, nous avons comparé les valeurs radiométriques des levées alluviales avec leur profil topographique interpolé sur le MNT. Cependant, nous avons été limités par les faibles résolutions des capteurs Landsat (30 m), par la résolution du MNT (40 m) et par le calage sur le fond de carte géoréférencé à 10 m près. Seules les formations superficielles spatialement très étendues ont donc pu être cartographiées.

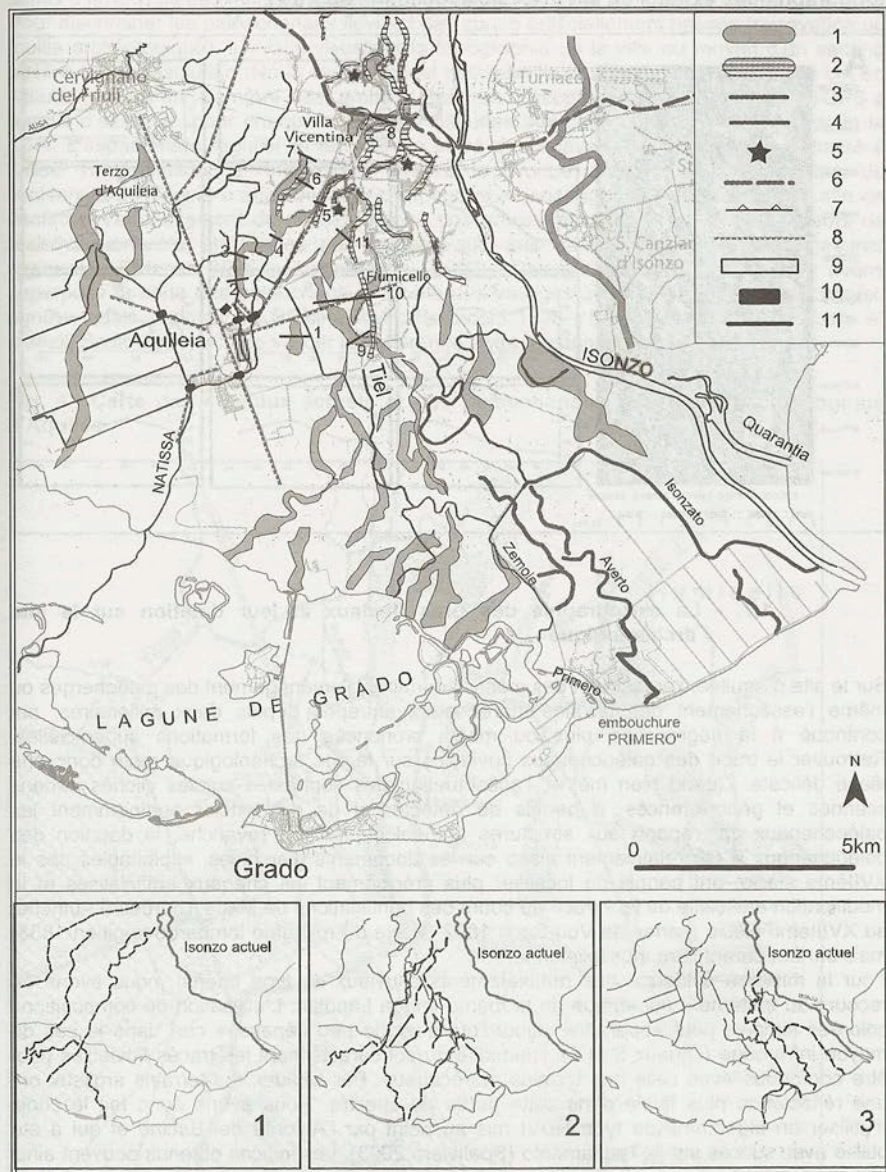
Fig. 1 : Carte hydro-morphostructurale montrant l'importance de l'activité torrentielle dans la construction du piedmont du Frioul



- 1 : massif montagneux (calcaire, dolomie ou flysh) ; 2 : plateau karstique de la chaîne dinarique ; 3 : plateau schisteux ; 4 : front des Alpes Dinariques ; 5 : faille transformante dextre active ; 6 : cône torrentiel du Torre (a), interstratification des cônes torrentiels du Torre et de l'Isonzo (b) ; 7 : cône torrentiel du Natisono ; 8 : cône torrentiel de l'Isonzo ; 9 : cône torrentiel indifférencié ; 10 : vallon « inter-cône » du Stella ; 11 : alluvions du Tagliamento supérieur (a), amphithéâtre morainique du Tagliamento (b) ; 12 : « sandur » du Tagliamento ; 13 : alluvions indifférenciées ; 14 : rebord de terrasse alluviale majeure ; 15 : ligne de résurgence ; 16 : lido et cordon littoral.

D'après Marocco (1991), Arnaud-Fassetta et al. (2003) et Bondesan et al. (2004), modifiés.

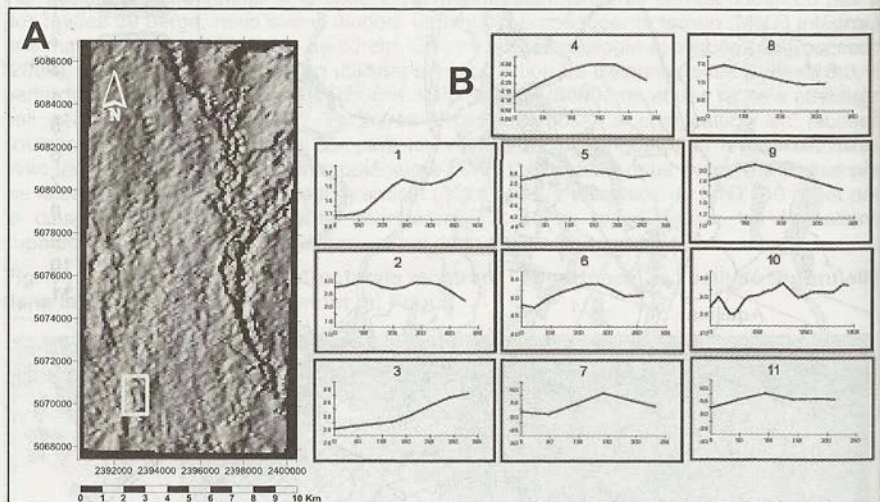
Fig. 2 : Carte des paléolevées de la plaine d'Aquilée



1 : paléolevée extraite de l'image satellitale ; 2 : lobe de méandre relevé par photo-interprétation stéréoscopique ; 3 : trace d'ancien chenal remblayé lors des différentes opérations de bonification ; 4 : chenal actuel ; 5 : nœud de défluviation ; 6 : ligne de résurgence ; 7 : limite de la ville romaine ; 8 : route romaine ; 9 : implantation portuaire ; 10 : pont ; 11 : localisation des profils topographiques (figure 3B).

Image satellitale Landsat exploitée avec l'autorisation de l'Autorità del Bacino dei Fiumi del Alto Adriatico

Fig. 3 : A : MNT de la basse plaine entre Aquilée et l'Isonzo ; B : Profils topographiques extraits du MNT (localisation sur la figure 2).



1.2. - La cartographie des bras fluviaux et leur datation sur le site archéologique

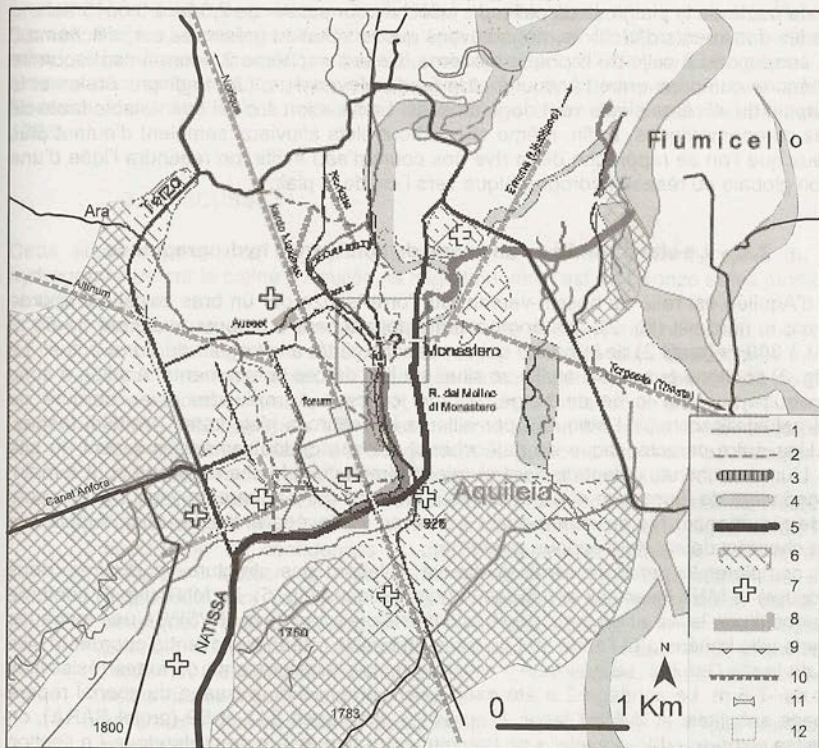
Sur le site d'Aquilée, l'arasement des massifs dunaires, l'aménagement des paléoberges ou même l'assèchement des terrains marécageux entrepris depuis deux millénaires, ont contribué à la dégradation plus ou moins prononcée des formations superficielles. Retrouver la trace des paléochenaux fluviaux sur le site archéologique reste donc une tâche délicate. Quand bien même, l'accentuation des contrastes sur les clichés aériens scannés et géoréférencés, a permis de détecter et de différencier pertinemment les paléochenaux par rapport aux structures archéologiques. En revanche, la datation des paléochenaux a été relativement aisée car les documents d'archives, exploitables dès le XVII^e siècle, ont permis de localiser plus précisément les chenaux artificialisés et la modification artificielle de leur tracé au cours des bonifications de Marie Thérèse d'Autriche, au XVIII^e siècle (cartes de Von Sach 1802 ; carte du royaume lombardo-vénitien 1833) mais surtout durant l'ère mussolinienne.

Pour la mise en évidence des remblaiements alluviaux de type chenal, nous avons eu recours au traitement numérique de la même image Landsat. L'utilisation de compositions colorées simples peut apparaître aujourd'hui quelque peu dépassée car, dans le cas du moyen infrarouge (canaux 5 et 7), l'humidité du sol caractérisant les tracés fluviaux peut être confondue avec celle des terrains marécageux. Par ailleurs, les terrains argileux ont une réflectance plus faible dans cette partie du spectre. Nous avons donc fait le choix d'utiliser un algorithme de type NDVI mis au point par l'Autorità del Bacino et qui a été utilisé avec succès sur le Tagliamento (Spaliviero 2003). Les indices obtenus peuvent ainsi être comparés, tout en minimisant les effets de bruitage des canaux 5 et 7. Le rapport $(7-5) / (7+5)$, visualisé sur le canal rouge, est proche de 0 en zone humide et est négatif pour les sols nus et la végétation. Il y a prédominance relative des sols humides sur les sols secs et végétalisés. Le rapport $(7-6) / (7+6)$, visualisé en vert, est négatif pour les zones humides en raison de la forte réflectance de l'eau par rapport au sol en hiver. L'indice est plus élevé pour les sols végétalisés. Enfin, $(3-1) / (3+1)$ visualisé en bleu exagère la réflectance des sols nus à texture grossière. Les zones potentiellement humides correspondent alors à des valeurs élevées dans le rouge et basses dans les deux autres bandes. Une valeur d'humidité élevée ressort en rouge sombre pour les paléochenaux et en rouge plus clair

pour les zones palustres. Les pixels vert sombre représentent la végétation (vigne, arbre, semis d'hivers) ou des murs antiques en position de sub-surface (fig. 5).

Pour discriminer les paléochenaux fluviaux des zones artificiellement basses (excavation ou fouille archéologique), il a fallu visualiser la topographie de la ville au moyen d'un second MNT à haute résolution. Nous avons acquis des relevés de 1 m par pixel et de 10 cm en altitude grâce à un télémètre laser embarqué sur un hélicoptère. Le couplage à un D-GPS a permis d'associer, pour chaque relevé, les altitudes aux coordonnées kilométriques de la CTR. L'espacement régulier et le maillage serré des relevés (fig. 6) nous ont autorisé à utiliser l'interpolation de Kriging. Par ailleurs, le Groupe d'Exploration Géophysique de l'université de Trieste a effectué deux campagnes de sondages électriques (fig. 5), afin de confirmer l'emplacement du chenal lorsque des arbres masquaient le sol. Les valeurs de résistivité ont été étalonnées par comparaison aux carottes SARA et aux mesures régionales (Prizzon 1996 ; Prizzon et al. 2003 ; Chiandussi 2005). Enfin, nous avons superposé la carte des paléochenaux à celle des vestiges archéologiques (ponts, canaux, égouts, quais, magasins ; Brusin 1934 ; Bertacchi 1998 ; Maselli Scotti 1998 ; Carre et Maselli Scotti 2001) afin de valider la cohérence entre les données.

Fig. 4 : Carte des chenaux actuels et des paléochenaux sur le site archéologique d'Aquilée



1 : paléochenal ; 2 : paléochenal supposé ; 3 : forme non identifiable (chenal remblayé ?) ; 4 : paléolevée ; 5 : cours d'eau actuel ; 6 : zone humide ; 7 : alignement d'amphores ; 8 : zone portuaire ; 9 : limites de la ville romaine ; 10 : réseau routier romain ; 11 : pont romain ; 12 : localisation de l'aire étudiée (figure 5).

Source des données archéologiques : Maselli Scotti (1996) ; Carre et Maselli Scotti (2001).

2. - RÉSULTATS

2.1. - Hydrogéomorphologie et paléochenaux fluviaux dans la plaine d'Aquilée

La photo-interprétation indique des tracés fluviaux discontinus (fig. 3) se distribuant en éventail à partir de l'actuelle rive droite du Torre, en amont de Villa Vicentina. Ces tracés suivent la direction globale des organismes les plus importants, que sont le Tiel et l'Isonzo (une branche se dirige aussi directement vers Aquileia). Ils correspondent globalement aux zones de forte réflectance (i.e., levées de berges potentielles) sur la composition en fausses couleurs de l'image Landsat.

Le MNT confirme l'identification de ces zones comme étant des paléolevées. En effet, les profils topographiques, calculés sur ce modèle, montrent que les surfaces à réflectance élevée correspondent à des bombements de 10 cm à 50 cm de hauteur, à l'exception des profils n° 1, 3, 5 et 8 (fig. 4). Ces levées sont disposées en éventail puis se subdivisent à nouveau en aval de Fiumicello et d'Aquilée, situées à 2 km du rivage de la lagune, et s'organisent respectivement d'ouest en est autour des canaux Tiel, Primero, Zemole et Averno. Le MNT montre aussi que les diffluences se situent au niveau de la principale rupture de pente de la plaine, là où celle-ci s'infléchit pour passer de 2,5‰ à 0,0015‰. D'après les documents d'archives, nous savons que la situation présentée sur le schéma 3 (fig. 2) correspond à celle de l'époque moderne. Celle du schéma 2 pourrait correspondre à une période comprise entre l'Antiquité et la fin du Moyen-Âge. Les traditions orales et la cartographie du XIV^{ème} siècle vont dans ce sens. La situation 1 n'est pas datable faute de données chronométriques. Enfin, même si ces bourrelets alluviaux semblent d'autant plus nombreux que l'on se rapproche de la rive des cours d'eau actifs, on retiendra l'idée d'une migration globale du réseau hydrographique vers l'est de la plaine.

2.2. - Le site d'Aquilée : une zone de confluence hydrographique

Le site d'Aquilée est relié au bassin-versant du Torre-Isonzo par un bras fluvial qui aborde la ville par le nord-est (fig. 2). Les bombements appartenant à ce bras mesurent de 80 m (profil 4) à 300 m (profil 2) de large, ce qui correspond plutôt à la largeur du Torre actuel. Le MNT (fig. 3) souligne aussi que la ville se situe sur l'un de ces bombements. Aquilée a donc été construite sur une levée de berge, en rive concave de méandre et en bordure de terrains palustres, comme l'indiquent par ailleurs les sources historiques (Vedaldi lasbez, 1994). Une autre caractéristique du paléochenal est son déboulement en amont du site (fig. 4). L'un des chenaux vient du nord et rejoint directement le site du grand pont romain. Le second vient de Fiumicello et se raccorde à un tracé qui s'apparente à un ancien cours d'eau de résurgence. Ne se superposant pas avec les levées antiques, nous supposons que ces chenaux datent de l'époque moderne.

Afin de compléter le parcours exact du fleuve à l'abord des structures portuaires, nous avons couplé le MNT laser aux sondages tomographiques (fig. 5). Le MNT (fig. 6) confirme la présence d'une levée et de deux dépressions linéaires orientées NE/SW. L'une longe les murs de la ville impériale et l'autre suit un tracé en boucle (méandre) avant d'aborder la ville le long de la via Gemina. Le sondage 1 montre que la plaine présente de fortes résistivités à partir de -7,5 m. Le sondage 2 a été exécuté sur un point de passage du chenal repéré sur l'image satellitale et le MNT laser. D'après les carottages S11 et S9 (projet SARA), on sait que les niveaux sablo-graveleux se trouvent entre 5 m et 7 m de profondeur. La section « b » reprend cette configuration car les valeurs proches de 100 ohms à partir de -7 m suggèrent la présence de sables. En « a », une formation de résistivité plus importante affleure en surface. Cette résistivité évoque une texture sableuse, ce qui ne correspond pas à la texture typique d'une levée. Or, à cet endroit précis, la carte archéologique indique le possible passage d'une route romaine. Cette route aurait pu être construite sur une levée de berge. Enfin, le long de la basilique paléochrétienne du IV^{ème} siècle, le relevé 3 recoupe le chenal en diagonale. En surface, les fortes valeurs correspondent aux

fondations d'un portique, aujourd'hui disparu. Le segment « c » est conforme aux données stratigraphiques extraites des sondages. Il s'agit probablement du chenal qui passait juste derrière la basilique. Sa largeur maximale (60 m) exclut la possibilité que ce soit l'Isonzo, tout au moins dans son état actuel puisque, à 11 km de la côte, sa bande active mesure aujourd'hui plus de 100 m de large. Mais une largeur de 60 m pourrait correspondre à la bande active de l'actuel Torre. De plus, ni le débit actuel du Torre, nul en période d'étiage, ni celui de sa résurgence ne suffiraient à mettre en eau le paléochenal romain qui mesurerait jusqu'à 48 m de large et plusieurs mètres de profondeur. Par ailleurs, la multitude de ponts et de voies d'eau suggère que ce chenal n'était pas le seul à drainer la ville.

La cartographie des chenaux à l'échelle du site (fig. 4) confirme que le secteur d'Aquilée a été naturellement et très tôt une zone de confluence de petits cours d'eau de résurgence (les roggia). Les Romains auraient pu canaliser et dévier ces cours pour alimenter le canal portuaire et un canal péri-urbain. En effet, le cours d'eau Ara est suivi de façon certaine jusqu'au forum ; aujourd'hui, il s'arrête au Terzo canalisé. Seules des fouilles géo-archéologiques pourront nous indiquer si ce détournement est d'époque romaine. De même, au nord du site, l'Ausset semble avoir vu son chenal profondément modifié. La figure 4 propose trois tracés possibles en cet endroit.

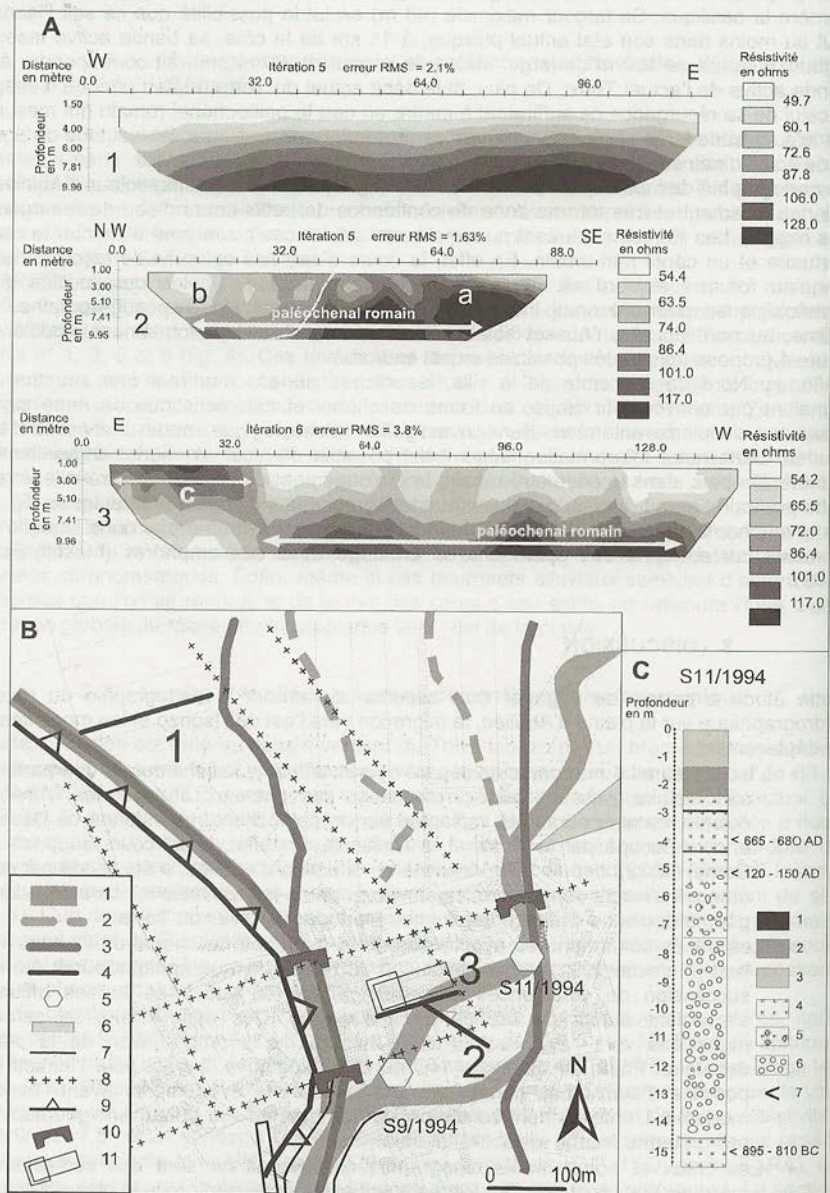
Enfin, au Nord de l'enceinte de la ville, les clichés aériens montrent une structure se signalant par une couleur claire, en forme de chenal et caractéristique de murs ou de structures de pierre enterrées. Sans investigation archéologique, nous devons être très prudent dans notre interprétation. Mais il est possible d'y voir un chenal artificiellement comblé. De plus, dans le périmètre urbain, le prolongement de l'Ara, du centre-ville vers la zone portuaire, serait marqué par des creux topographiques d'origine anthropiques (fig. 6). En revanche, la figure 5 confirme la présence d'une plaine hydromorphe dans laquelle les Romains ont entrepris des opérations de drainage avec des amphores (Maselli Scotti 1998).

3. - DISCUSSION

Cette étude a permis de dégager trois aspects concernant la cartographie du réseau hydrographique sur la plaine d'Aquilée, la migration vers l'est de l'Isonzo et les modalités de ce déplacement :

- L'Isonzo aurait eu un parcours séparé de ses affluents italiens durant une partie de son histoire, laissant ceux-ci réoccuper ses chenaux abandonnés. Ainsi, la colonie romaine aurait été implantée sur un paléochenal abandonné de l'Isonzo, encore occupé par le Torre et la Natisone. En effet, le parcours supposé par Comel (1932), depuis Villa Vicentina en direction d'Aquilée, a été validé par cette étude. Il s'inscrit dans le prolongement du paléo-Isonzo mais les caractéristiques géométriques du chenal portuaire correspondent à celles du Torre.
- -Les tracés confirment les hypothèses de la migration du chenal de l'Isonzo vers l'est (Marocco 1991). Ainsi, l'évolution du réseau hydrographique aurait été une succession de confluences et de diffuences du fleuve et de ses affluents s'articulant autour de nœuds de défluviation. Ces défluviations se seraient multipliées vers l'aval, au fur et à mesure de la progradation de la plaine deltaïque. Faute de datations ¹⁴C ou archéologiques, il n'est pour l'instant pas possible d'établir une chronologie précise de ces événements avant l'époque moderne. L'enfoncement contemporain des cours d'eau et leur endiguement ont mis un terme à cette instabilité latérale.
- -Les creux et bombements topographiques reliques ne sont pas suffisamment marqués pour contrôler l'écoulement actuel sur cette portion de la plaine alluviale. Le tracé des petits cours d'eau de résurgence est indépendant de celui des paléolevées antiques. Ces cours d'eau de résurgence ne peuvent donc pas être considérés comme des paléochenaux antiques. Les fouilles archéologiques ont d'ailleurs révélé un sol de mosaïque romaine en place dans le lit même de la Roggia del Molino di Monastero (Brusin 1934), attestant la mise en place d'un remblaiement alluvial puis son entaille par un chenal postérieur à l'Antiquité.

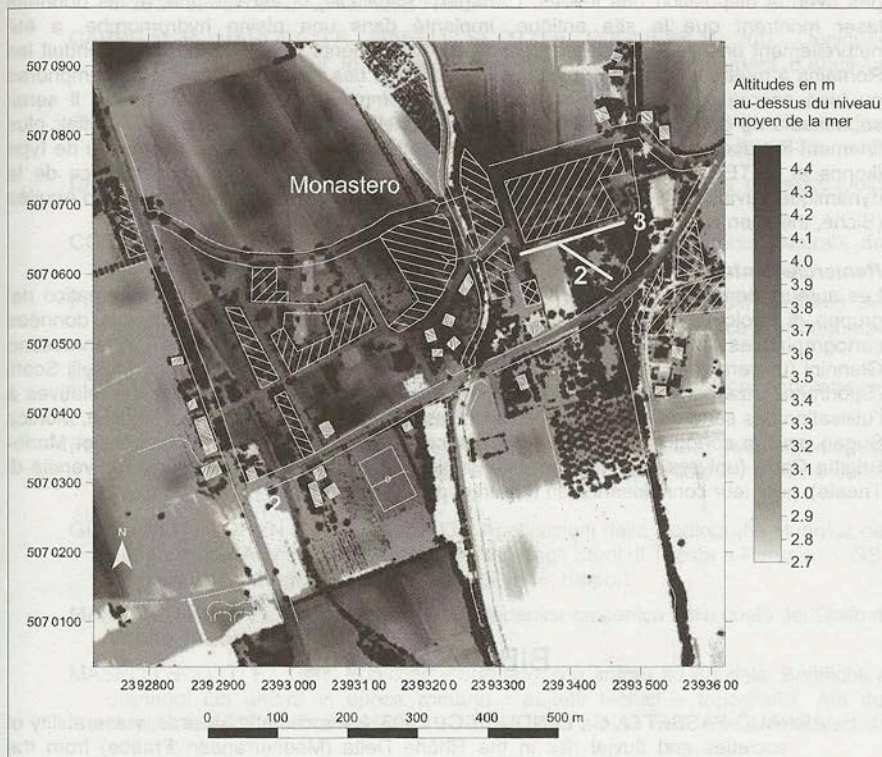
Fig. 5 : A : Transects tomographiques ; B : Localisation et confrontation avec les carottages SARA



1 : paléochenal ; 2 : paléochenal supposé ; 3 : cours d'eau actuel ; 4 : transect tomographique ; 5 : carottage SARA ; 6 : paléolevées ; 7 : structure portuaire ; 8 : réseau routier romain ; 9 : limites de la ville romaine ; 10 : pont romain ; 11 : fondations de l'église paléochrétienne ; C : Log stratigraphique simplifié de la carotte S11/94. 1 : tourbe ; 2 : limons ; 3 : limons sableux ; 4 : sables ; 5 : sables graveleux ; 6 : graviers et galets dans une matrice sableuse ; 7 : datations radiocarbone. Projet SARA ; concession du Ministère du Patrimoine et des Affaires Culturelles ; Surintendance Archéologique du Frioul Vénétie Julienne.

Source des données archéologiques : Maselli Scotti (1996) ; Carre et Maselli Scotti (2001)

Fig. 6 : Laser des environs du site du Monastero



Sources des données laser : Giannini et al. (2003)

CONCLUSION

L'imagerie numérique, combinée à l'approche naturaliste, a permis de cartographier, dans un contexte de forte anthropisation, les changements de tracés des paléochenaux fluviaux dans la plaine d'Aquilée. L'imagerie Landsat ne s'est avérée vraiment utile que pour des formations alluviales sablo-limoneuses ou sablo-graveleuses dont les surfaces d'affleurement excédaient 30 m. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence la distribution en éventail des paléolevées de l'Isonzo sur son piedmont et sur sa plaine côtière. Ces formes relictuelles ont encore une expression topographique mais l'action humaine les a suffisamment gommées pour qu'elles ne soient perceptibles que par exagération du relief sur MNT. Bien que les données chronométriques soient encore très ténues, les toponymes et les cartes anciennes suggèrent une évolution générale par défluviations successives vers l'est. Au cours de cette migration, les affluents Torre et Natissone ont connu une évolution séparée en empruntant les paléochenaux abandonnés par l'Isonzo, notamment lors de la fondation de la colonie il y a 2186 ans. Une branche appartenant à ce réseau reliait le port fluvial à la rive droite de l'actuel Torre ; aujourd'hui, celle-ci est empruntée par le cours d'eau de résurgence Natissa. Les autres branches ont été en partie réoccupées par des organismes plus importants : l'Aussa, le Tiel et l'Isonzato. Ces derniers se subdivisaient à chaque rupture de pente majeure de la plaine, c'est-à-dire à 11 km puis à 6 km de la côte. En revanche, sur le site lui-même, les cours d'eau de résurgence sont

d'implantation plus tardive (époque moderne). Au voisinage du port, leur tracé ne s'accorde pas avec la disposition des levées. L'imagerie satellitale, la tomographie et les données laser montrent que le site antique, implanté dans une plaine hydromorphe, a été naturellement une zone de convergence des écoulements fluviaux, ce qui a conduit les Romains à mettre en place un système de drainage des zones basses par des amphores ou bien encore à détourner des cours d'eau comme le Terzo. Dans l'avenir, il serait souhaitable de dater précisément l'activité des paléochenaux mais aussi d'en définir plus finement le tracé à travers l'utilisation des imageries satellitales à haute résolution de type Ikonos et ASTER. Ce travail apparaît essentiel pour une meilleure connaissance de la dynamique fluviale et pour une quantification des paléo-régimes dans la plaine d'Aquilée (Siché, thèse en cours).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Franco Cucchi et Alessio Mereu (Centro informatico del gruppo di geologia applicata e cartografia informatica), pour la fourniture des données cartographiques informatisées et des protocoles d'élaboration du MNT, Gianrossano Giannini (università di Trieste), pour la fourniture des données laser, Franca Maselli Scotti (Sprointendenza per i BAAAA ; Frioul-Vénétie Julienne), pour les autorisations relatives à l'utilisation des sondages SARA et des archives du Musée archéologique d'Aquilée, Monica Sukan pour la cartographie et le géoréférencement des profils topographiques, et Marie-Brigitte Carre (université de Provence), Ruggiero Marocco et Nevio Pugliese (università di Trieste), pour leur connaissance du terrain et pour leur soutien.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD-FASSETTA G., LANDURÉ C., 2003. Hydroclimatic hazards, vulnerability of societies and fluvial risk in the Rhône Delta (Mediterranean France) from the Greek period to the Early Middle Ages. In: Fouache E. (Ed.), *The Mediterranean World Environment and History. Proceedings of the International Conference « Environmental Dynamics and History in Mediterranean Areas »* held in Paris, 24-26 April 2002. Elsevier, Paris, 51-76.
- ARNAUD-FASSETTA G., CARRE M.-B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., ZACCARIA C., 2003a. Paléoenvironnement d'Aquilée. In : Drobne K., Pugliese N., Tambareau Y. (Eds.), *De la Mer Adriatique aux Alpes Juliennes*, Ljubljana, 23-26.
- ARNAUD-FASSETTA G., CARRE M.-B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., ZACCARIA C., BANDELLI A., BRESSON V., MANZONI G., MONTENEGRO M.E., MORHANGE C., PIPAN M., PRIZZON A., SICHÉ I., 2003b. The site of Aquileia (north-eastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean coastal plain. In: Arnaud-Fassetta G., Provansal M. (Eds.), *Deltas 2003. Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 223-241.
- BERTACCHI L., 1998. *Nuova pianta archeologica d'Aquileia*, Udine.
- BONDESAN A., MENEGHEL M., 2004. *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra Editrice, Padova, 514 p.
- BRUSIN G., 1934. *Gli scavi d'Aquileia*, Udine, 253 p.
- CARRE M.-B., 2005. Le réseau hydrographique d'Aquilée : état de la question. *AAA*, 50, 197-216.

- CARRE M.-B., MASELLI SCOTTI F., 2001. Il porto di Aquileia : dati antichi e ritrovamenti recenti. *AAAd*, 46, 211-243.
- CARRE M.-B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., 2003. Quelques données récentes sur le réseau fluvial et le paléoenvironnement d'Aquileia. *Puertos* 2003, 299-311.
- CASTIGLIONI G.B., 1992. Risultati preliminari del nuovo rilevamento geomorfologico della Pianura Padana. *Memorie della Società Geografica Italiana*, III, 13-72.
- CHIANDUSSI A., 2005. La tomografia elettrica per l'investigazione del sottosuolo. *Rassegna Tecnica* 1, 27-29.
- COMEL A., 1932. Ricerche preliminari per l'identificazione del corso naturale del Natisone presso Aquileia romana. *AN*, III, 1, 23-46.
- FORTE E., 1996. Metodologie avanzate Ground Penetrating Radar Multifold per indagini nel parco archeologico di Aquileia. Tesi di laurea in geofica applicata, dir : I.R. Finetti. : università degli studi di Trieste, 235 p.
- FONTANA A., 2004. Le relazioni della geomorfologia con l'antico popolamento umano. *Quaderni dell'Accademia*, 2, 61-75.
- FOUACHE E., GRUDA G., MUCAJ S., NIKOLLI P., 2001. Recent geomorphological evolution of the deltas of the rivers Seman and Vjosa, Albania. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 793-802.
- GIANNINI G., COREN F., PLOS D., 2003. Applicazioni della Radiografia Muonica del Sottosuolo all'Archeologia. INFN/università degli Studi di Trieste e Perugia. OGS-Trieste/Helica. Région Frioul Vénétie Julienne, rapport.
- MAROCCO R., 1991. Evoluzione tardopleistocenica-olocenica della costa del Golfo di Trieste. *Il Quaternario*, AIQUA, 1-21.
- MASELLI SCOTTI F., 1998. Bonifiche e drenaggi con anfore ad Aquileia. Bonifiche e drenaggi cin anfore in epoca romana : aspetti tecnici e topografici. Atti del seminario degli studi di Padova 19-20 oct 1995 a cura di S. Pesavento Mattioli, 107-112.
- MASELLI SCOTTI F., PARONUZZI P., PUGLIESE N., 1999. Sondaggi geonostici per la prospezione geoarcheologica del territoriodi Aquileia : il progetto SARA. *AAAd*, 45, 79-97.
- OLIVO B., 1993. Aspetti geomorphologici della piana di Aquileia. Tesi de laurea, università degli studi di Trieste, 110 p.
- POCECCO P., 2000. Cartografia geoarcheologica della piana di Aquileia. Tesi di laurea in geologia del quaternario, dir R. Marocco: università degli Studi di Trieste, 116 p.
- PRIZZON, A., 1996. Ottimizzazione del rapporto segnale/rumore per onde elettromagnetiche GPR nel Parco Archeologico di Aquileia. Tesi di laurea in geofisica applicata, università degli studi di Trieste, 180 p.
- PRIZZON A., FORTE E., PIPAN M., FINETTI I.R., 2003. Indagini geofisiche integrate nell'area del porto fluviale di Aqueiea. *AN*, 74, 590-618.
- SCHMIEDT G., 1979. Contributo della fotografia aerea alla conoscenza del territorio di Aquileia. *AAAd*, 15,1,145-188.
- SPALIVIERO M., 2003. Historic fluvial development of the Alpine-foreland Tagliamento River, Italy, and consequences for floodplain management. *Geomorphology*, 52, 317-333.
- VEDALDI IASBEZ V., 1994. La Venezia orientale e l'Histria. Le fonti letterarie greche e latino fino alla caduta dell'Impero Romano d'Occidente. Studi e ricerche sulla Gallia Cisalpina, 5, Rome, 526 p.