Analyse der mittelalterlichen Instandsetzungsmaßnahmen und der stratigraphisch-archäologischen Untersuchungen nach Einsturzkatastrophen in Ostia Antica

Laura Pecchioli

Abstract

Ostia an der Tibermündung war von fundamentaler Bedeutung für die antike Hauptstadt Rom. Als Hafenstadt war sie die repräsentative Fassade derselben zum Mittelmeer und funktionierte als kommerzielles Zentrum und Umschlagplatz sämtlicher Güter. Sowohl die Errichtung wie auch der Erhalt von mehrgeschossigen Bauten war schon von Anfang an eine schwierige Aufgabe, da die auf sandigem Baugrund errichtete Stadt von Naturkatastrophen wie Überschwemmungen wegen des Flusses Tiber und Erdbeben in regelmäßigen Abständen heimgesucht wurde. Die Stadt wurde vermutlich wegen Krankheiten, Überschwemmungen, Erdbeben und Einstürzen noch vor dem Mittelalter verlassen. Damit aber wurde sie eine Quelle des "Recyclings". Seit Beginn des 19. Jahrhunderts begannen archäologische Ausgrabungen, die von Papst Pius VII. gefördert wurden, die Überreste der antiken Stadt wieder ans Licht zu bringen.

1. Einleitung

Dieser Beitrag stellt einen Aspekt eines Projekts[1] in Ostia dar, das die Dynamik von Einsturzkatastrophen von Gebäuden und die mögliche Entstehung früher Erdbeben untersucht. In diesem geplanten Projekt sollen historische, d.h. antike bis grabungszeitliche Instandsetzungsmaßnahmen an vielgeschossigen antiken Ziegelbauten untersucht werden. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der römischen Hafenstadt Ostia bei Rom.

Im Rahmen dieses Artikels werden die Katastrophen und ihr Einfluss in Ostia mit Hilfe von stratigraphisch-archäologischen Untersuchungen, seismischen Sondagen und Foto-Archiv-Recherchen, für den Zeitraum bis zu den letzten Zeugnissen des frühen Mittelalters analysiert.

Zahlreiche Bauwerke waren hier auf ungünstigen Baugrundverhältnissen errichtet und wiederholt durch Hochwasser und Erdbeben beschädigt und anschließend repariert worden. Sowohl die Errichtung wie auch der Erhalt von mehrgeschossigen Bauten war schon von Anfang an bis zum Ende des 19. Jahrhunderts mit der Landgewinnung verbunden und somit eine schwierige Aufgabe, da die auf sandigem Baugrund errichtete Stadt von Naturkatastrophen wie Überschwemmungen und Erdbeben in regelmäßigen Abständen heimgesucht wurde.

In Ostia kommt wegen der Lage am Tiber noch die Frage hinzu, ob das Gelände zusätzlich erhöht wurde, um einen verbesserten Hochwasserschutz zu gewährleisten. Bei der Ausführung von Reparaturarbeiten oder auch beim Neubau wurde oft gezielt versucht, präventiv gegen drohende Schäden vorzugehen. Die Stadt wurde vermutlich eine Quelle des “Recyclings” und wurde auch wegen Krankheiten, Überschwemmungen, Erdbeben und Einstürzen noch vor dem Mittelalter verlassen.

2. Fotoarchiv und historischen Grabungsnotizen

Ausgrabungen und Restaurierungen wurden leider Anfang des 20. Jahrhunderts z. T. noch ohne wissenschaftliche Methode vorgenommen, eine entsprechende wissenschaftliche Aufarbeitung fehlt bis heute. Es ist jedoch möglich, aus historischen Grabungsnotizen das dynamische Verhalten der eingestürzten Gebäude abzuleiten. Die Effekte und Ursachen der Einstürze werden dabei aus einer mechanischen Perspektive betrachtet. Auf Basis der Fotodokumentation der Altgrabungen, sowie aus Tagesbüchern, Inschriften, und archäologischen Untersuchungen, lässt sich auch heute noch rekonstruieren, dass die wahrscheinliche Ursache der Versetzung von Bauteilen aus ihrer ursprünglichen Lage auf die Auswirkung von Erdbeben zurückzuführen ist.

Die historischen Notizen der seismischen Effekte enthalten weitere interessante und nützliche Überlegungen: z.B. notierte Rodolfo Lanciani zum Palazzo Imperiale, dass zwei Elemente der Säulen weit von ihrer ursprünglichen Lage entfernt zu finden waren (Abb.1). Auch Italo Calza hatte anfänglich vor Ort einen Einsturz der südlichen Fassade des Caseggiato degli Aurighi vorgefunden, angehoben und dann wiederaufgebaut.

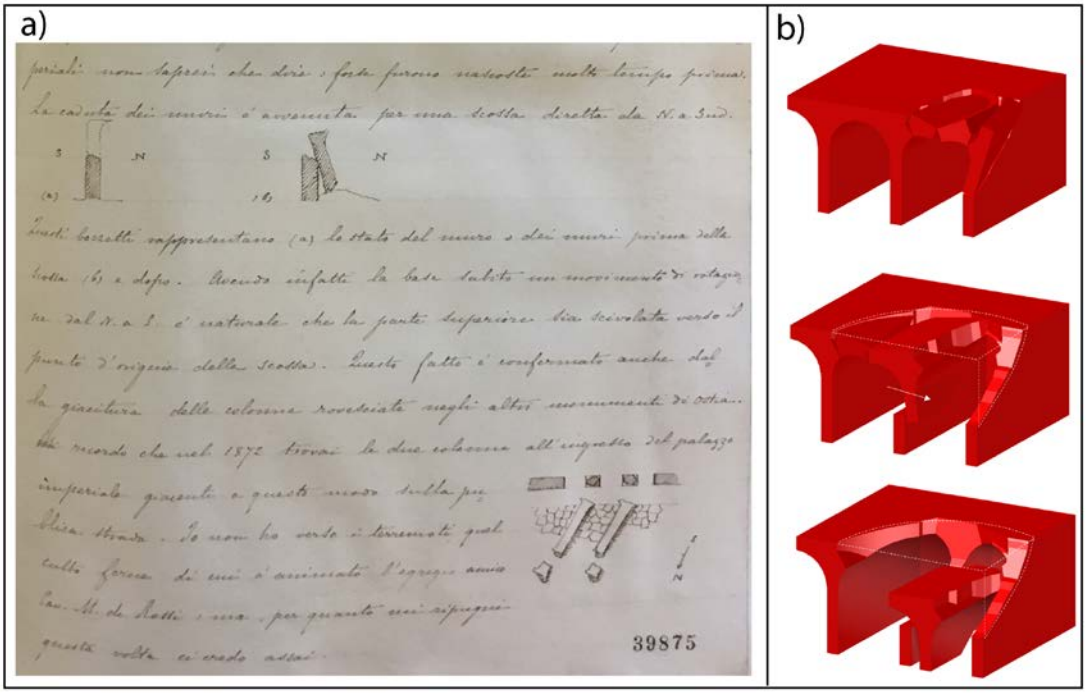

Abbildung 1: a) Tagebücher der Jahre 1914–1919, PASOA; b) Beispiel einer Simulation aus einer fotografischen Dokumentation.

3. Bauphasen der Stadt

Ostia wurde als Flottenstützpunkt Roms im späten 4. bzw. frühen 3. Jahrhundert v. Chr. an der Tibermündung angelegt. Nach Phasen langsamen Stadtwachstums waren vor allem die ersten zwei nachchristlichen Jahrhunderte dagegen von einer starken Expansion geprägt. Die Stadt wandelte sich zum Handelshafen Roms.

Die urbanistische Entwicklung Ostias ist durch sechs Bauphasen charakterisiert: Die republikanische Zeit, die frühe Kaiserzeit, die hadrianische und antoninische Zeit, die severische Zeit und die Spätantike. Naturkatastrophen, die in Ostia zu Renovierungs- oder Wiederaufbauphasen führten (ebenso wie die Bauspekulation und ihr Einfluss auf die Qualität der Gebäude), haben die Baugeschichte Ostias maßgeblich beeinflusst. Nach dem Niedergang und Fall des Imperiums, trotz einer kurzen "Renaissance", wurde die Stadt seit dem 5. Jahrhundert schrittweise aufgegeben. Die großen Gebäude wurden ruiniert und zerstört und unter einer dichten Bedeckung aus natürlichen und anthropogenen Schichten begraben (Pavolini, 2016).

Eine relative Verjüngung erfolgte erst im 9. Jahrhundert mit der Entwicklung von Gregoriopoli (heute *Borgo di Ostia*), die von Papst Gregor IV. (827–844) in der antiken Stadt und deren Umgebung gefördert wurde, um den Invasionen der Sarazenen entgegenzuwirken (Abb.2). Danach wurde die Stadt verlassen und vergessen, bis ihr im neunzehnten Jahrhundert mit den ersten Ausgrabungen ein archäologischer Wert zugeschrieben wurde.

Abbildung 2: Gregoriopolis (Borgo di Ostia Antica, 2018)

3.1 Stadtentwicklung

Die bis ins 7. Jahrhundert genutzte Stadt Ostia erlaubt die Analyse einzelner Stadtteile, Baukomplexe und speziell des Straßenraums, um einen Einblick in die heterogene Entwicklung städtischer Baustrukturen zu erhalten. In Ostia stiegen nicht nur Lauf- und Bauniveaus beständig an, es gibt auch Anlagen, die intentional oder passiv wegen fehlender Neugestaltung konstant auf dem älteren Niveau gehalten wurden, wie das Forum und der Herkulestempel. Diese Zonen versinken dadurch in regelrechten Löchern, während die übrige Stadt auf kontinuierlich ansteigende Aktivität hinweist. Diese Entwicklungen sind weniger großflächig geplante Aktivitäten, bei denen ganze Viertel erhöht wurden, sondern waren eher von der Baugeschichte der einzelnen Häuser geprägt, so dass sich zeitlich versetzte und im Niveau unterschiedlich hoch ansteigende Geländemodifikationen ergeben. Ab dem 4. Jh. verfielen Stadtviertel zusehends, andere wurden zu Luxusvierteln, die sich nach außen gegenüber den missbräuchlich genutzten Verfallszonen massiv abschlossen (Gering, 2004).

Durch die Verknüpfung von einzelnen Fallbeispielen zeigten sich die Umbrüche und deren Auswirkungen im spätantiken Stadtbild in ihrer Vielfältigkeit deutlicher denn zuvor (Heinzelmann, 2002; Delaine, 2002).

Insbesondere die Finanzierung der Restaurierungseingriffe könnte eine weitere interessante Quelle sein. Es gab z. B. normalerweise Geldmittel der öffentlichen Hand für Restaurierungen oder zum Wiederaufbau und vermutlich auch als Prävention für spätere Katastrophen. Das bedeutet, Geld für Wiederaufbaumaßnahmen nach einem Erdbeben war vorgesehen, wie es auch in Pompeji für den Fall eines Vulkanausbruchs bereitgestellt worden war.

In Ostia sieht es so aus, als ob einige herausgehobene Familien das politische Leben der Stadt bestimmten und durch Stiftungen zur Stadtentwicklung beitrugen. Aber es scheint indessen, dass die Stadtpolitik von den Interessen der Machterhaltung Roms geleitet wurde und nicht im Interesse der Bewohner war[2] (Winter, 1996).

4. Die ersten Ausgrabungen

Ostia war eine der größten Ausgrabungsstätten der Antike (neben Pompeji). Im 19. Jahrhundert hatte der Vatikan in Ostia ein Ausgrabungsprojekt initiiert und unter Pius VII. und Pius IX. entstand eine Fläche von 34 Hektar (von möglichen 50). Die Ergebnisse wurden in damals üblicher Form, mit entsprechenden Abbildungen und topografischen Zeichnungen versehen, publiziert. In den Jahren 1877–1889 finanzierte der italienische Staat weitere Untersuchungen. In den darauf folgenden 17 Jahren wurde Ostia von der wissenschaftlichen Welt und vom italienischen Staat vernachlässigt.

Die ersten systematischen Ausgrabungen begannen 1909: Ostia stellte ein Trümmerfeld dar, das über Jahrhunderte durch Zufallsgrabungen verwüstet worden war. Sicherungs-

und Festigungsarbeiten wurden durchgeführt und stützende Neukonstruktionen hinzugefügt, um drohenden Einsturz zu verhindern.

Die Grabungsberichte von 1907 bis 1924 sind die primäre Quelle unseres Wissens über die in Ostia in den ersten Jahrzehnten des Jahrhunderts verwendeten Materialien und angewendeten Arbeitsmethoden. Die ausgedehnten Grabungen zwischen den Jahren 1938 und 1941, die im Hinblick auf die geplante Weltausstellung von 1942 durchgeführt wurden, haben weitere Denkmäler zu Tage gefördert. Die schnell durchgeführte Grabung hat die ergrabene Fläche der Stadt verdoppelt, wobei aber leider viele Informationen verloren gingen. Seit dem Ende des 2. Weltkrieges konzentrieren sich die Arbeiten vorwiegend auf die Untersuchung, Dokumentation und Instandhaltung des freigelegten Baubestands.

Dank der ausgedehnten Ausgrabungs- und Restaurierungsarbeiten, einschließlich Neuzusammenstellung, Ersetzung, Integration, steht heute ein großer Teil der Überreste des antiken Ostia in relativ gutem Zustand und bietet eine einmalige Gelegenheit, römische Bautechniken in einem umfangreichen und stadtweiten Studium zu studieren.

4.1 Ergebnisse aus archäologischen Strassensondagen

Die kontinuierliche Frequentation eines Stadtareals bis zur seiner Aufgabe ist durch einige jüngere archäologischen Straßensondagen in der III. Region der antiken Stadt belegt. In einigen Straßen befanden sich noch gut erhaltene Pflasterungen aus der Spätantike und dem Frühmittelalter: In einer Sondage waren die Außenwände der beidseits angrenzenden Gebäude aus dem späten 4. oder 5. Jahrhundert, wahrscheinlich infolge eines Erdbebens, auf die Straße gestürzt. Darüber entstanden in der Folgezeit jedoch noch wenigstens drei weitere Laufhorizonte, von denen der jüngste bis ins späte 6. oder frühe 7. Jahrhundert reicht.

In den neuesten Ausgrabungen wurde bei einer Untersuchung antiker Instandsetzungsmaßnahmen sichtbar, dass Ostia eine umfassende Neustrukturierung im 4. und frühen 5. Jahrhundert erlebte und Weiterentwicklungen noch im 5. und 6. Jahrhundert erfolgten. Die bei Ausgrabungssondagen gefundene Vorbereitungschicht aus Sand oder Ton wurde oftmals falsch als Überschwemmungschicht interpretiert (Jansen, 1995).

Der Dekumanus war die einzige Achse Ostias, die auch im 4. Jahrhundert nur geringfügige Schwankungen des Gehniveaus aufwies, ganz im Gegensatz zu den untergeordneten Straßen mit ihren unregelmäßigen, bis über zwei Meter hohen Aufschüttungen. Neu ausgestattete Plätze und Promenaden waren Teil eines durch Straßensperren organisierten Verkehrssystems mit Sackgassen und Fußgängerzonen. Sie bezeugen, wie gewerblicher Leerstand und Unsicherheit in einer zunehmend verlassenen Stadt durch eine bisher unbekannte Abgrenzung luxuriöser Wohn- und Vergnügungsviertel von Ruinenflächen mit Mülldeponien bewältigt wurde (Gering, 2004).

Von der Mitte der IV. Strasse steigt das Strassenniveau auf 80–100 cm über den eingestürzten Gebäuden an. Mehrere Ausgrabungen seit 1996 haben frühmittelalterliche Töpferwaren

in Ostia und Porto ans Licht gebracht und seit 1998 haben mehrere Ausgrabungen gezeigt, dass Ostia noch im Mittelalter bewohnt war.

5. Land-Fluss-Meer: Der Tiber tritt über die Ufer

Veränderungen des Gleichgewichts des Land-Fluss-Meer-Systems (Landnutzung in Mittelitalien im späten Mittelalter und in der Renaissance) haben einen Einfluss auf die Stadtentwicklung gehabt. Eine Zunahme der Erosion führte wiederum zu einer Zunahme der Feststoffladung der Flüsse und damit der Hochwasserfrequenz und -intensität, des Anstiegs der Talebene und der Begradigung der Küstenlinie (Abb.3).

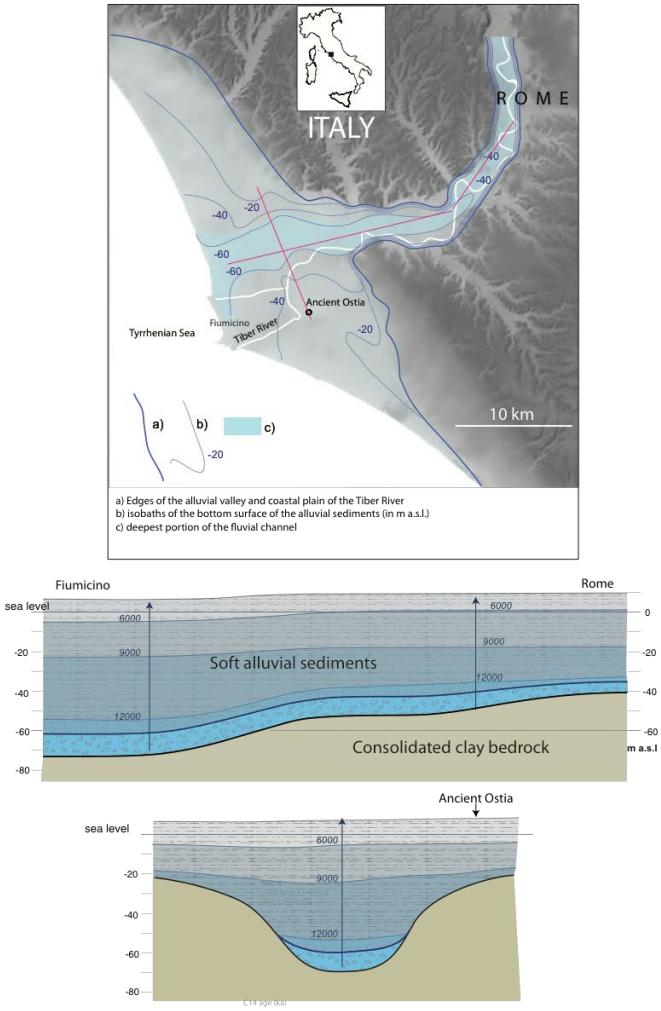

Abbildung 3: Geologische Analyse der Gebiete Ostia und Fiumicino

Im Jahr 1587 gab es ein außerordentlich starkes Hochwasser, das den Lauf des Tibers veränderte, wodurch der Graben von der Wasserzufuhr abgeschnitten wurde. Die Festung verfiel immer mehr, diente schließlich als Stall und Lagerplatz für die wenigen Bauern und

Schäfer der Umgebung. Die Überreste der abgeschnittenen Flusskurve heißt The Dead River (Fiume Morto). Heute ist Ostia drei Kilometer vom Meer entfernt (Abb.4).

Ab 2014 wurde ein Grundwasserüberwachungsprojekt gestartet, um die Reaktion des Grundwassers auf lokale Niederschläge zu untersuchen und zukünftige Grundwasserüberschwemmungen zu verhindern.

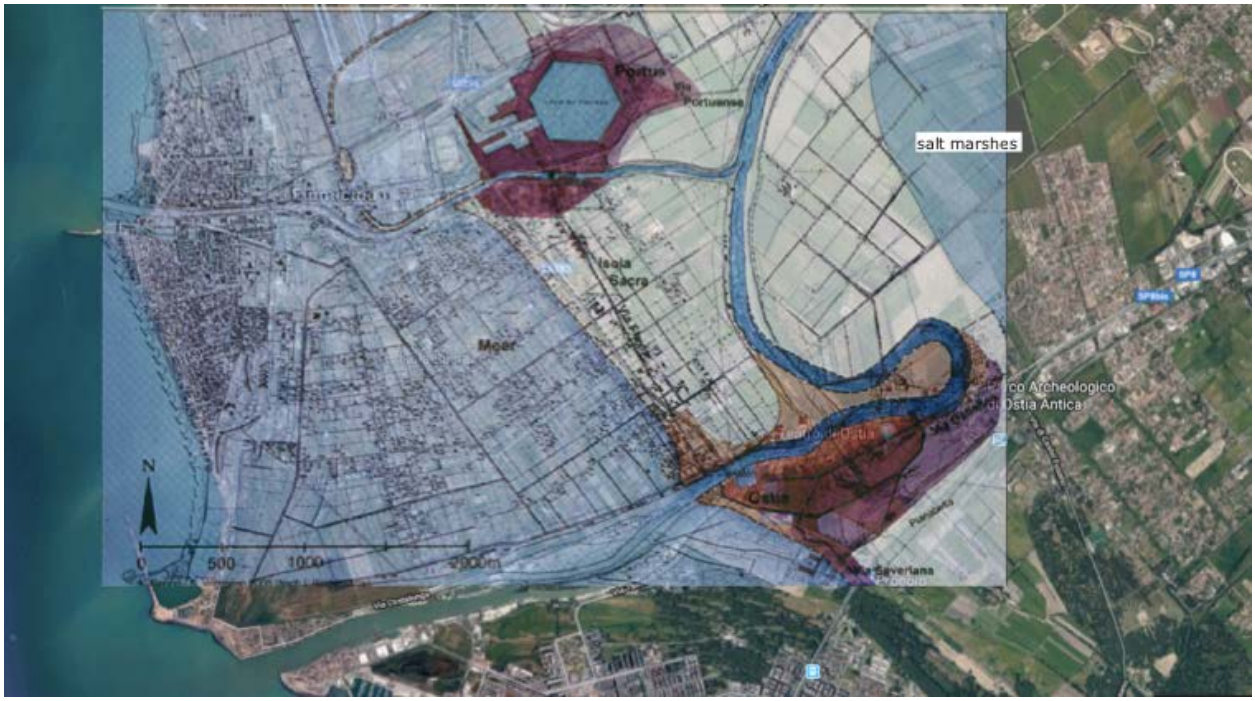

Abbildung 4: Der Fluss Tiber und seine Veränderungen im Gebiet der Stadt Ostia.

5.1 Neue Dynamik der Nutzung dieses Küstengebiets

Vom 7. Jahrhundert an findet man in Ostia städtische Begräbnisse, metallurgische Aktivitäten, professionelle Handwerksbetriebe (wie Töpfereien) Kalköfen (Lenzi, 1998), vielleicht auch missbräuchliche Wiederverwendung von Monumenten (Deregulierung).

Auch landwirtschaftliche Tätigkeit und die Produktion von Konsumgütern ist in der Stadt durch Keramik, Amphoren aus Afrika, dem Orient und Spanien nachweisbar.

Als die Wasserversorgung eingestellt wurde und die Straßen keine Bedeutung mehr hatten, wurden verschiedene Brunnen in der Straßenmitte errichtet (entlang des Decumanus, in der Region II oder in der Via del Semita dei Cippi in der V. Region).

Zu dieser Zeit spielte die Kirche eine Rolle in der territorialen Verteidigung von Standorten, und gründete die neue Siedlung „Gregoriopoli“ (s.o.) mit der Befestigung gegen Sarazenenangriffe.[3]

Von der Renaissance bis zu den päpstlichen Ausgrabungen des 19. Jahrhunderts weisen Indizien auf fortwährende Plünderungen hin.

In der Basilica Costantiniana erkennt man an den Ausgrabungen (Bauer *et al.,* 1999), dass ein eingestürztes Dach mit einer dicken Schicht Asche bedeckt war und große Teile der südlichen Außenmauer in das Innere der Kirche gestürzt sind. In der Zerstörungsschicht wurden Münzen und Töpferwaren aus dem 8. und dem Beginn des 9. Jahrhunderts gefunden. Die Münzen wurden auf Ende des 6. oder den Anfang des 7. Jahrhunderts datiert (Paroli *et al.,* 1992).

6. Strukturanalyse von beschädigten Gebäuden

An einem archäologischen Ort (Stätte oder Fundstelle) sind originale Mauerfassaden, abgestürzte Profile und die Risse in den Bauwerkresten einzigartige Spuren. Die Monumente bergen die Spuren der seismischen Effekte der antiken Erdbeben in sich, und das auch in Ostia.

Hier kann man ausgehend von einer ersten Analyse weit verbreitete Schäden sehen: Es scheinen Effekte der seismischen horizontalen Einwirkungen zu sein. Ähnliche seismische Effekte des Erdbebens von 62 n. Chr. können wir in Pompeji identifizieren (Pecchioli *et al.,* 2018a). Bis heute gab es in Ostia keine kritische Strukturanalyse mit einem interdisziplinären Ansatz, weshalb wir aus wissenschaftlicher Sicht den Spuren vor Ort folgen. Wie schon erwähnt verfolgen wir seismische Spuren in der Stratigraphie der Erde, dem Mauerwerk, in den Fundamenten in Verbindung mit einer globalen dynamischen Beteiligung von natürlichen Faktoren aber auch von anthropogenen Faktoren. Schäden in archäologisch ergrabenen Bauwerken bzw. Bauwerkresten sind hinsichtlich ihrer Ursachen oft schwer einzuordnen,[4] aber wir können anhand ihrer vermuten, welche Ereignisse stattgefunden haben (Abb.5)[5].

Abbildung 5: Bruchzone aufgrund der Verdrehung des Pilasters im oberen Bereich (Piccolo Mercato)

Die Analyse von archäologischen Daten zur Untersuchung historischer Erdbeben wurde seit dem 19. und frühen 20. Jahrhundert eingeführt (Hinzen, 2011). Die Unterscheidung zwischen seismogenen und anderen Ursachen, wie statischem Versagen aufgrund natürlicher Faktoren (Verwitterung, Feuer, Überschwemmungen, unterschiedliche Bodenverdichtung) oder anthropogenen Faktoren (Enteignung, Zerstörung usw.) kann jedoch eine schwierige Aufgabe sein (Guidoboni *et al.,* 1994). Einen seismischen Ursprung für die Schäden antiker Gebäude zu erkennen, ist ein entscheidendes Thema in der Archäoseismologie (Pecchioli, 2018b).

Das Ziel des Projektes[6] ist, archäologische Beweise für seismische Schäden in der antiken römischen Stadt Ostia zu untersuchen, um ein objektives Mittel zur Identifizierung der seismogenen Herkunft der beobachteten Rupturen und Zusammenbrüche zu finden. In diesem Sinne lassen sich Ergebnisse der Strukturanalyse von beschädigten Gebäuden auf der Grundlage der Prinzipien der Bogenmechanik erkennen.

Durch das virtuelle Bogenmodell analysieren wir das kinematische Verhalten der architektonischen Strukturen und rekonstruieren die Einsturz-Vektoren mit einer vorherrschenden horizontalen Komponente, die auf erdbebenbedingte Brüche hinweist.

6.1 Einschätzung der "Seismizität"[7]

Die hohe Verwundbarkeit alter Gebäude, bedingt durch Aufgabe und mangelnde Instandhaltung, beeinflusst die archäoseismologische Einschätzung, so dass die Ursache fälschlicherweise als co-seismisch interpretiert werden kann oder die Erdbebenintensität überschätzt wird (Galadini *et al.,* 2006). Auf der anderen Seite kann das Fehlen von historischen Quellen nicht als Beleg dafür betrachtet werden, dass es keine Erdbeben gegeben hätte. Selbst im Fall einer langen und reichen historischen Aufzeichnung, wie sie für die Stadt Rom charakteristisch ist, kann es schwierig sein, zwischen lokalen und Fernfeld-Ereignissen zu unterscheiden. Darüber hinaus kann ein Bericht über seismische Ereignisse aufgrund fehlender historischer Aufzeichnungen während der langen Zeitspanne seit dem Fall des Imperiums und während des gesamten Mittelalters unvollständig sein. In der Tat wird seit dem Jahr 847 n. Chr. in dem Katalog starker Erdbeben in Italien von 461 v. Chr. bis 1980 n. Chr. von keinem starken Erdbeben mit Epizentrum in Rom berichtet (Marra *et al.*, 2018).

Ostia Antica zeichnet sich durch ein orthogonales Gittersystem mit vielen parallelen Strukturen aus. So gibt es nicht sehr viele Richtungen von Mauerwerksstrukturen zu vergleichen, im Gegensatz zu anderen historischen Zentren, wo sich die Gebäude in einer weniger geordneten Ansiedlung befinden (Abb.6).

Auch in der Einschätzung der "Seismizität", sollte Ostia mit seinem Wohnungsbau, der Morphologie der Regionen, Bauweise, Eigenschaften der Werkstoffe, Erhaltungszustand der Gebäude und mit seinem Bebauungsgrad berücksichtigt werden. Alles definiert die Verletzbarkeit der Gebäude einerseits und der seismischen Effekte andererseits.

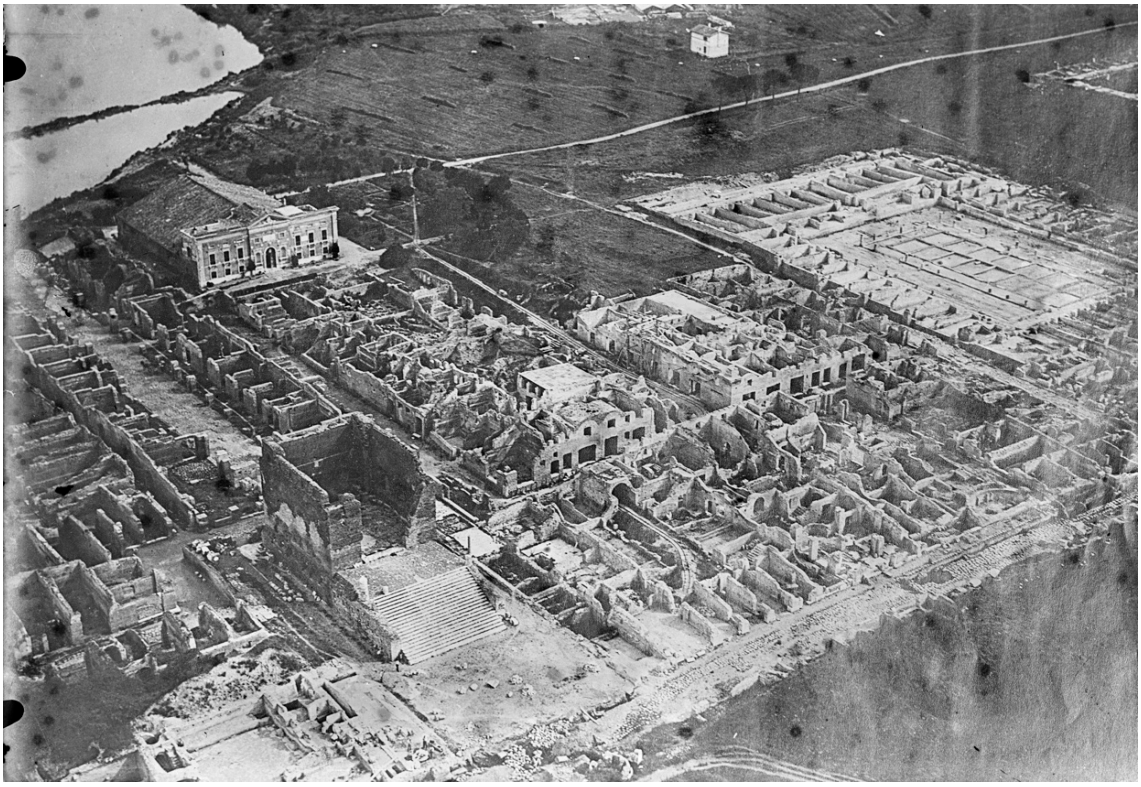

Abbildung 6: Orthogonales Pattern System mit vielen parallelen Strukturen. Luftbild von Ostia aus dem Zeppelin (1919), (B-2430, Fotoarchiv, PAOA)

6.2 Seismische Sondage

Ostia liegt auf alluvialen Sedimenten und diese Bodensubstanz ist sehr wahrscheinlich die Ursache für die Verstärkung der seismischen Effekte gewesen.

Zwischen September und Oktober 2017 wurden seismische Vermessungen der geologischen Untersuchungsflächen mittels Sensoren in einigen Bereichspunkten der antiken Stadt Ostia und in Portus[8] durchgeführt[9]. Dabei wurden die stratigraphischen Daten und das Ausmaß der Verstärkung des Erdbebens erfasst. Dies bestätigte die Einschätzungen über die Dicke der alluvialen Sedimente in Ostia Antica (ca. 30 m) (Abb. 7a - b). Aber die beobachteten Schäden konnten nicht durch lokale Verstärkungsphänomene erklärt werden. Die größere Distanz von Ostia Antica (als Rom z.B.) zu den wichtigsten seismischen Appenninquellen lässt vermuten (Galli *et al.,* 2007-2008), dass die beobachteten Schäden durch lokale Quellen verursacht worden sein könnten. Tatsächlich, aus der Identifizierung einer Reihe von morphologischen Strukturelementen folgern wir: Eine Verwerfung in Richtung W-SW/O-NO war schon in der Vergangenheit "aktiv" gewesen. Die Verwerfung befindet sich an der Nordgrenze der Stadt. Es scheint daher möglich, dass ihre Bewegung durch seismogene Erscheinungen begleitet wurde, die auch für die Schäden an den Gebäuden in Ostia Antica verantwortlich sind und lokale Erdbeben verursacht haben (Abb.8).

Abbildung 7: Subsidenzphänomen: a) beim Forum b) in der IV Region)

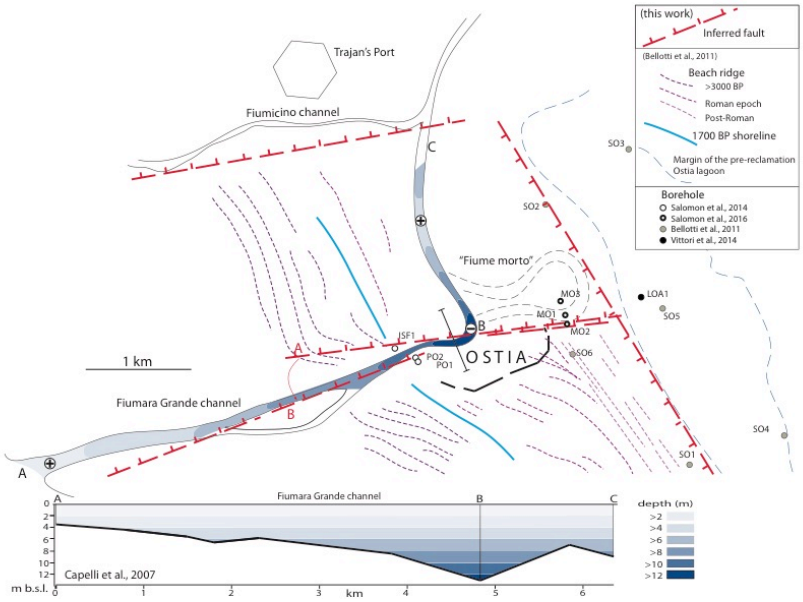

Abbildung 8: Abschnitte der alluvialen Sedimente und die Verwerfung in Richtung W-SW/O-NO (INGV, Rom)

Bei Ostia Antica zeigte der Untersuchungsbefund viele verschiedene Ansätze für Reparaturmaßnahmen oder für die Wiederverwendung von Mauerwerk, die man noch heute zur Kenntnis nehmen sollte. Dabei soll die Dokumentation von Restaurierungseingriffen, Wartungstechniken und Neubauten in der Antike und in der Moderne vertieft werden. Heutzutage gibt es noch immer eine große Diskussion dieser unterschiedlichen Ansätze. Die Restaurierungseingriffe werden üblicherweise entlang der Einsturzlinie durchgeführt. Die neuzeitlich-moderne Restaurierung und Befestigung des Mauerwerks und ihre Entwicklung von 1909 bis heute werden auch in den nachfolgenden Strukturanalysen berücksichtigt (Abb.9).

Abbildung 9: Forumstherme (1928). Einige Einstürze wurden in kleinen Fragmenten abgeschnitten und wieder gehoben. Das war möglich, weil der Mörtel noch von hoher Qualität war (*Opus Cementicium*), C1260, Fotoarchiv, PAOA.

6.3 Vergleichsbeispiele in Ostia und Rom

Die antike Ruinenstadt von Ostia liegt heute ungefähr 30 Kilometer südwestlich von Rom, ca. 3 Kilometer landeinwärts. Eine Gleichzeitigkeit der Erdbeben in Ostia Antica und Rom soll mit den neuen Ergebnissen der Vermessungskampagne verifiziert werden. Seit der Antike sind in der Großstadt Rom die Effekte und Grade der Beschädigung von Zone zu Zone verschieden. Es wurde bereits erforscht, dass die schweren Schäden in Stadtbereichen zu finden sind, die auf alluvialen Sedimenten liegen. Was wir heute in Rom sehen, ist das Ergebnis von seismischen Schäden, vom Colosseo zum Tempio di Marte Ultore im Foro di Augusto, in der Basilica Ulpia (Palazzo Roccagiovine), in der Crypta Balbi oder im Auditorium di Adriano (Abb. 10) usw.

Seismische Erschütterungen haben weitgehend dazu beigetragen, die urbane Landschaft des alten Rom zu verändern und die Entstehung von zerstörten oder degradierten Kontexten zu fördern, wie Galadini schreibt (INGV)[10].

Im Wesentlichen aufgrund der hohen Verletzbarkeit der Gebäude, über lange Zeit hinweg dem Verfall preisgegeben und sogar geplündert, ist es möglich dass die Auswirkungen von Erdbeben in der Vergangenheit stärker waren. Es gibt fünf bekannte historische Erdbeben zwischen dem 6. und dem 9. Jahrhundert (443, 484, 508, 801, 847), aber wir können aus den historische Quellen nicht erkennen, welche speziellen Schäden einem einzelnen Erdbeben zuzuordnen sind. Die archäologischen Ergebnisse können die historische Information ergänzen.

Abbildung 10: Einstürze aus Piazza Madonna di Loreto (Rom, Italien)[11]

7. Interpretation der Ursache der Einstürze

Die römische Stadt Ostia bietet eine einzigartige Gelegenheit, ein breites Spektrum von Strukturschäden zu untersuchen, die verschiedene Typologien antiker Gebäude betreffen, und dabei einen methodischen Ansatz anzuwenden, der auf den Prinzipien der Bogenmechanik beruht, die besonders empfindlich auf Mauerwerkstrukturen reagiert.

Es scheint eine allgemeine Tendenz der Interpretation der Archäologen zu geben: Einige glauben es haben kein Erdbeben in Ostia gegeben oder ein Erdbeben ist nicht die Ursache der Einstürze gewesen. Ich denke, dass die Erdbeben eine Mitursache der Zerstörung und des Verfalls gewesen sind. Vielleicht auch eine Mitursache der Krise der Stadt, aber auch ein Grund für die weitere Stadtentwicklung.

Eine wichtige Frage ist, welche Rolle Erdbeben in dieser Stadt gehabt haben. Ostia ist in fünf Regionen aufgeteilt und die Analyse jedes Viertels zeigt verschiedene Bauentwicklungsaspekte, die mit den Erdbeben in Verbindung stehen. Methodisch aufschlussreich ist es, die alten Grabungsfotografien systematisch durchzusehen und mit dem Zustand von heute und den modernen Plänen zu vergleichen.

Bereits analysierte Fälle zeigen deutlich das Auftreten seismischer Schäden an mehreren antiken Gebäuden in Ostia und tragen zur Debatte über dieses Thema bei, das in der Vergangenheit kontrovers diskutiert wurde (Pecchioli *et al.,* 2018a).

8. Resümee

Die Geschichte Ostias zeigt eine Stadt, die bis ins Spätmittelalter zu überleben versuchte, von der „Wiedergeburt“ unter Gregor VI (827–844), als „Gregoriopolis“ bis zur Restaurierung der Mauern (14./15. Jahrhundert). Ostia war seit der Zeit der Renaissance ein Ort fortwährender Plünderungen, bis mit den die päpstlichen Ausgrabungen des 19. Jahrhunderts der Versuch unternommen wurde, die archäologische Stadt zu schützen. Dank der Ergebnisse der Ausgrabungen können wir ihre Geschichte vervollständigen und integrieren. Durch das Verbauen von Trümmerresten wurde das Straßenniveau erhöht, wodurch sich wiederum die Anfälligkeit beschädigter Gebäude erhöhte (verstärkte seismische Effekte, „primärer Effekt und vorübergehendes Schütteln“). Die Fundamente sind auf Schutt und alluvialen Sedimenten gebaut. Bei Ausgrabungssondagen wurden Vorbereitungschichten aus Sand oder Ton gefunden, die oftmals falsch als Überschwemmungschicht interpretiert wurden.

Darüber hinaus gibt es unterstützende Vektoren mit einer vorherrschenden Richtung S-SO, obwohl die abgeleiteten Richtungen für die seismischen Einfallssignale aufgrund einer Reihe von einschränkenden Faktoren, die die Beobachtungen beeinflussen könnten, nur als Richtwerte betrachtet werden sollten. Aufgrund dieser Überlegungen sollten die beobachteten Effekte als das kumulative Ergebnis verschiedener Ereignisse betrachtet werden.

Weitere Untersuchungen sind in Arbeit, die darauf abzielen, Beweise für seismische Schäden durch eine detaillierte Strukturanalyse der Gebäude zu liefern und das Ursprungsgebiet der Erdbeben, die Ostia betroffen haben, zu bewerten.

Ein wichtiger Aspekt in der Reaktion eines Gebäudes auf seismische Erschütterungen betrifft das geologische Merkmal des Bodens. In der Tat können Standorteffekte eine fundamentale Rolle im Gebiet von Ostia spielen, das durch alluviale Böden charakterisiert ist, die die seismischen Wellen in allen spektralen Komponenten verstärken können. Aus diesem Grund wird eine Kampagne mit seismischen Lärmmessungen und einer Überprüfung der verfügbaren stratigraphischen Logs im Untersuchungsgebiet für Bauzwecke in Angriff genommen. Ziel ist es, Informationen über die Untergrundgeologie und deren Fähigkeit zur lokalen Verstärkung des Bodenschüttelns zu liefern. Diese Information wird es uns ermöglichen, zwischen lokalen und Fernfeld-Ereignissen als Ursache der beobachteten seismischen Schäden zu unterscheiden.

Mit einem interdisziplinären Forschungsansatz können wir heutzutage eine Analyse der historischen Instandsetzungsmaßnahmen nach Einsturzkatastrophen durchführen. Bei der Analyse von Fundamenten/Untergeschossen können archäologische Sondagen, exakte Vermessungen durch Laserscans, geophysikalische Messungen und kinematische/baustatische Analyse zur Anwendung kommen.

Danksagungen

Wir danken der Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il museo Nazionale Romano e l'Area archeologica di Roma (Parco Archeologico di Ostia Antica) für die Zusammenarbeit und der Gerda Henkel Stiftung für die Unterstützung, ohne die die Entwicklung dieser Forschung nicht möglich gewesen wäre. Ich danke sehr dem Kanton Basel-Stadt für die Möglichkeit zu veröffentlichen.

Literatur

Franz Alto Bauer, Michael Heinzelmann. The Constantinian Bishop's church at Ostia: preliminary report on the 1998 scason. JRA 12 (1999), S. 342-353

Janet DeLaine. Building activity in Ostia in the second century AD. Ostia e Portus nelle loro relazioni con Roma. Atti del Convegno all'Institutum Romanum Finlandiae, 3 e 4 dicembre 1999 (2002), S. 41–101.

Fabrizio Galadini, Klaus-G. Hinzen, Stathis Stiros. Archaeoseismology: methodological issues and procedure, In: Journal of Seismology, 2006, S. 395–414.

Paolo Galli, Diego Molin, Luigi Scaroina. Tra Fonti storiche e indizi archeologici. Terremoti a Roma oltre la soglia del danno. In: Rivista dell'Istituto Nazionale d'Archeologia e Storia dell'Arte, III serie, anno XXX–XXXI, 62–63 (2007–2008), S. 8–32.

Axel Gering. Plätze und Strassensperren an Promenaden. Zum Funktionswandel Ostias in der Spätantike. In: Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung, 111, 2004, S. 299–381.

Emanuela Guidoboni, Giusto Traina, Alberto Comastri. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. Istituto nazionale di geofisica, Roma, 1994.

Michael Heinzelmann. Bauboom und urbanistische Defizite – zur städtebaulichen Entwicklung Ostias im 2. Jh.. In: Bruun, C. and Zevi, A. Gallina (Hg.), Ostia e Portus nelle loro relazioni con Roma, Acta Instituti Romani Finlandiae 27, Rome, 2002, S. 103–121.

Klaus-G. Hinzen. Archeoseismology. In: Gupta HK (Hg.) Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Springer, Berlin, 2011, S. 11–15.

Gemma C.M. Jansen. Die Wasserversorgung und Kanalisation in Ostia Antica; Die ersten Ergebnisse' in 'Mitteilungsheft der Frontinus-Gesellschaft' (1995) 19, S. 111-123.

Paolo Lenzi. Sita in loco qui vocatur calcaria: attivita di spoliazione e forni da calca a Ostia. In: Archeologia Medievale 25, 1998, S. 247–263.

Fabrizio Marra, Giuliano Milana, Laura Pecchioli, Pamela Roselli, Giovanni Cangi, Giorgia Carlucci, Daniela Famiani, Alessia Mercuri. Historical faulting as the possible cause of earthquake damages in ancient Ostia (Rome, Italy): a combined structural, seismological and geological analysis, GSA Bullettin, Geological Society of America (eingereicht: Juli 2018).

Lidia Paroli, Paolo Delogu. La basilica di Pianabella 1. In: *Scavi di Ostia* 12, Roma, 1999.

Carlo Pavolini. Per un riesame del problema di Ostia nella tarda antichità: indice degli argomenti. In: Ferrandes, A. F. and Pardini, G.(Hg.), Le regole del gioco. Tracce Archeologi Racconti. Studi in onore di Clementina Panella, Rome, 2016, S. 385–405.

Laura Pecchioli, Cangi Giovanni, Marra Fabrizio. Evidence of seismic damages on ancient Roman buildings at Ostia: an arch mechanics approach, in Journal of Archaeological Science: Reports, 2018a (im Druck)

Laura Pecchioli. 3D Application in Archaeoseismology, in Symposium “Antiker Bauschmuck aus Terrakotta“, 19.-20. 01.2018, Humboldt Universität, 2018b (Im Druck).

Engelbert Winter. Staatliche Baupolitik und Baufürsorge in den Römischen Provinzen des kaiserzeitlichen Kleinasien. Bonn: Habelt, 1996.

Schlagworte

Italien, Ostia, Rom, 2. Jh. bis Mittelalter, Archäoseismologie und Bauforschung, Naturkatastrophen, Überschwemmung, Erdbeben, Stadtentwicklung, seismischen Effekte, Einstürze

---

[1] „Präventiver Erdbebenschutz und historische Reparaturen von Mauerwerk. Drei Fallstudien: Piccolo Mercato, Forumsthermen und Insula del Serapide e degli Aurighi (Ostia)“ (Forschungsstipendium der Gerda Henkel Stiftung)

[2] Das stellt einen aktuellen Schwerpunkt des Projektes dar und wird zurzeit analysiert.

[3] Aus *Liber Pontificalis*.

[4] Fabrizio Galadini. „Le evidenze del terremoto tardoantico.“ Italian. In: Poco grano, molti frutti : 50 anni di archeologia a Alba Fucens, (2006), S. 131–140.

[5] Obwohl wir nicht immer eine richtige Dokumentation der Einstürze in ihrer originalen Lage besitzen, oft wurde die Stratigraphie manipuliert, können wir jedenfalls deutliche Spuren des Erdbebens identifizieren.

[6] Note 1 (*idem*).

[7] Die Erdbebeneigenschaften eines Gebietes werden durch die Seismizität beschrieben.

[8] „Portus Romae“: Portus hat eine bedeutende Rolle für die Versorgung der Stadt Rom gespielt. Nachdem der alte, südlich gelegene Hafen von Ostia allmählich versandet war, ließ Kaiser Claudius Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr.

einen neuen Hafen errichten, Portus Romae genannt und verband ihn durch einen Kanal mit dem Tiber. So wurde die Versorgung gesichert.

[9] In Zusammenarbeit mit einer Forschungsgruppe vom INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

[10] Es gibt vier Erdbebenzentren, die für Rom relevant sind: Appennino, Colli Albani, Litorale tirrenico und Roma.

[11] Quelle: Fabrizio Galadini, Istituto di Geofisica e Vulcanologia.