

TESIS DOCTORAL

**ARQUITECTURA EN TIERRA DE LA PREHISTORIA Y
PROTOHISTORIA EN EL PRÓXIMO ORIENTE**

**Estudio arqueométrico del adobe en los yacimientos de Tell
Halula, Yumuktepe y Tell Tuqan**

CHIARA MARCHIORI

Curso académico 2014-2015

**Directores: MIQUEL MOLIST MONTAÑA, FRANCISCO XAVIER CLOP
GARCÍA
y JUAN JESÚS MARTÍN DEL RIO**

Doctorat en Arqueologia Prehistòrica

**DEPARTAMENT de PREHISTÒRIA
Facultat de Filosofia i Lletres**

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

CAPITOLO VIII

Composizione chimica e mineralogica dei campioni

“...lo strumento che ho usato è il Powder Diffraction File, un database che supporta l’analisi dei dati da diffrazione di polveri. In questo archivio elettronico sono contenute informazioni cristallografiche per più di 300.000 fasi inorganiche ed organiche....”
(Povia 2009:93)

8.1 - Introduzione

La composizione mineralogica dei campioni è stata individuata tramite diffrazione raggi X, con cui si sono determinati gli elementi mineralogici presenti mediante analisi del campione in polvere. I campioni sono stati analizzati da due laboratori distinti di cui una determinazione mineralogica è stata eseguita al Laboratorio di Raggi X dell’Università autonoma di Barcellona (UAB).

Per fare le analisi è stato utilizzato un diffrattometro X’Pert Philips che utilizza la radiazione Cu-K α (Fig.Tav.1D).

Sotto consiglio del professore e anche per un mio approfondimento della materia analitica, per una maggiore comprensione del dato la preparazione dei campioni e la lettura dei diffrattogrammi sono stati eseguiti personalmente in laboratorio con l’aiuto del direttore Dr. Angel Alvarez. Si è deciso di compiere una lettura generale di tutti i campioni raccolti, così da poter aver il diffrattogramma specifico di ognuno di essi permettendo la comparazione dei dati per comprendere le differenze quantitative e qualitative.

Nel secondo caso le analisi sono state compiute su alcuni campioni dal Laboratorio di Raggi X del CITIUS (Centro di Investigazione, Tecnologia e Innovazione Università di Siviglia) dove è stata realizzata la diffrazione raggi X

utilizzando un diffrattometro Bruker-AXS modello D8 (Advanced A25) che utilizza la radiazione Cu-K α che ha permesso d'identificare la composizione mineralogica generale attraverso il metodo delle polveri, e la fluorescenza raggi X utilizzando uno spettrometro Panalytical modello AXIOS che utilizza un tubo Rh.

I risultati ottenuti sono stati elaborati per ottenere una distinzione semi quantitativa delle fasi mineralogiche presenti (Chung 1974).

In questo caso non sono stati fatti analizzare tutti i campioni, ma solo un numero limitato proveniente dai tre siti archeologici, che è stato sottoposto ad analisi DRX, FRX, porosità, resistenza e granulometria. Questa scelta è stata presa dal responsabile del Laboratorio che ha ritenuto ridondante analizzare tutti i campioni vista la omogeneità del terreno. Trattandosi di materiale argilloso, è stata eseguita anche un'analisi DRX su campioni trattati per determinare i minerali argillosi presenti negli impasti.

8.2 - Preparazione dei campioni per le analisi

La preparazione dei campioni è stata eseguita seguendo le norme vigenti relative al tipo di metodologia analitica prescelta. In particolare, per le analisi diffrattometriche, ho sottoposto i campioni, prima di essere irradiati, a trattamenti di natura fisica: essiccamento, frantumazione, quartatura e polverizzazione.

I sedimenti, allo stato naturale, sono caratterizzati da un grado di umidità variabile, pertanto, prima di eseguire le analisi, essi devono essere essiccati a temperatura ambiente o bassa (30-40°), per alcuni giorni sotto cappa o in stufe.

Per i campioni studiati in questo lavoro, dipendentemente dal materiale raccolto, questa fase è stata raggiunta durante il periodo di deposito in laboratorio durato circa quattro mesi per i campioni provenienti da *Tell Tuqan*, mentre tramite essiccazione con stufe a 40° per i campioni provenienti da *Yumuktepe* e *Tell Halula*.

In seguito è stata compiuta la “quartatura” che consiste nella suddivisione del campione in quattro parti, con materiale raccolto dai due settori opposti. Tale operazione può essere ripetuta più volte secondo la quantità che s’intende ottenere (Cavalcante & Belviso 2005). Ultimo processo di lavorazione è la polverizzazione del campione in cui le particelle devono raggiungere dimensioni micrometriche.

Per quanto concerne le regole e le strumentazioni utilizzate per quest’operazione, esistono diverse soluzioni: mortaio e pestello di agata o con l’ausilio di polverizzatori meccanici.

I mortai in agata, mullite o corindone sono da preferire a quelli metallici o in ceramica sintetica poiché questi materiali possono rappresentare fonti d’inquinamento del campione stesso (Cavalcante & Belviso 2005) (Tav.8.1A).

La polverizzazione non dovrebbe essere molto prolungata, altrimenti si possono provocare trasformazioni di fase (Jenkins & Snyder 1996), formazione di materiale amorfo (O’Connors & Chang 1986; Nakamura *et alii* 1989), e indurre deformazioni strutturali (Bish & Reynolds 1989) che possono determinare una lettura sbagliata delle analisi.

Dopo l’operazione di polverizzazione ho montato i campioni sulle maschere e inseriti nel porta campione (Tav.8.1B). Prima di montare il gruppo dentro la macchina sono stati impostati i parametri che permettono allo strumento di leggere i campioni alla misurazione che si desidera. In questo caso ho adottato due porta campioni circolari di due diametri differenti, \varnothing 27mm (Tav.8.1C), e \varnothing 16mm nei casi in cui la polvere non era sufficiente.

I campioni sono stati analizzati nell’intervallo di $5-70^\circ$ di 2θ , con un passo di $0,03^\circ$ con tempi di conteggio pari a 1 secondi, per un totale di tempo a campione di circa mezz’ora. Per determinare meglio i minerali di argilla bisogna compiere successive preparazioni delle polveri per eliminare i sali idrosolubili e i carbonati e per ottenere delle polveri orientate che permettano l’identificazione dei minerali argillosi presenti, attraverso la separazione della frazione di $2\mu\text{m}$ dal resto del materiale terroso. La prima operazione consiste nel sciogliere il campione, in precedenza polverizzato, in una soluzione formata da acqua distillata e acido acetico

allontanando i carbonati che causano la riduzione delle fasi d'interesse impedendo la perfetta orientazione dei minerali argillosi e rendendo incerta la determinazione di alcuni di loro (Cavalcante & Belviso 2005). Il campione subisce una dissoluzione dei carbonati provocando effervescenza (Tav.8.1E), al termine di questo processo (2/3 ore) si sciacqua la soluzione con acqua per eliminare ogni traccia di acido acetico e si lascia decantare nel *becker*.

Il mattino seguente si elimina l'acqua e si aggiunge una soluzione di acqua con una parte di dispensante liquido (36gr di Calgon + 8 gr CO_3Na_3). Preparata la soluzione si pone il contenitore su una piastra chimica con agitatore meccanico per permettere la separazione della frazione di $2\mu\text{m}$. Passate due ore circa, si lascia il materiale a decantare per ancora 3 ore e mezzo, dopodiché la frazione più grossa di $2\mu\text{m}$ è sedimentata al fondo mentre quella inferiore è in sospensione e viene raccolta tramite pipetta (Tav.8.1F). Raccolto il materiale, si pone una goccia su un vetrino per ottenere un campione con aggregato orientato, dopo la totale evaporazione dell'acqua.

Compiute tutte le operazioni di preparazione del campione, le polveri hanno subito altri trattamenti prima di essere sottoposte ad analisi diffrattometrica:

- Solvatazione con glicole etilenico⁶¹
- Riscaldamento a 350° ⁶²
- Riscaldamento a 550° ⁶³

⁶¹ L'elevato punto di ebollizione e l'elevata affinità per l'acqua rendono il glicole etilenico un ottimo agente disidratante e per questo si impiega per rimuovere l'eccesso di vapore acqueo. Oltretutto il glicole etilenico, in questo caso, sostituisce le molecole d'acqua nella struttura dell'argilla, gonfiando il materiale e permettendo lo spostamento dei picchi nel diffrattogramma.

⁶² La totale disidratazione dell'argilla per mezzo del calore permette di evidenziare il collasso di alcuni minerali (smectite) consentendo l'identificazione di minerali interstratificati.

⁶³ Un successivo riscaldamento si utilizza per differenziare la caolinite o la halloysite dalla clorite.

8.3 - Risultati e discussione delle analisi dei materiali provenienti da *Tell Halula*

Nell'insieme i materiali presentano una composizione mineralogica molto omogenea, con livelli di calcite abbastanza elevati e con una presenza di dolomite e gesso riscontrata in tutti. I vari campioni delle strutture prese in esame (*Grill Plan*, *Struttura rettangolare*, *Adobe muro* e *Forno*) non presentano grandi differenze nella composizione mineralogica, l'unica cosa che appare dalla comparazione dei diffrattogrammi è una diversa altezza dei picchi corrispondenti al minerale identificato (Tav.8.2A). Questa variazione della composizione si osserva anche nella determinazione semi quantitativa riportata nella tabella in basso (Fig.8.1).

Campione	Calcite %	Quarzo %	Feldspato %	Fillosilicato %	Dolomite %	Gesso %
TH02	50	23	11	13	2	1
TH03	76	3	6	1	11	3
TH04	38	13	7	41	1	-
TH05	46	9	6	38	1	-
TH11	83	3	-	9	5	-
TH15a	71	13	8	8	-	-

Fig. 8.1– In tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di *Tell Halula*.

Partendo da una descrizione dei minerali maggioritari identificati con la Calcite (CaCO_3) e il Quarzo (SiO_2), si può notare che le percentuali presenti variano. Un dato interessante è osservare la similitudine tra TH04 e TH05 nella determinazione semi quantitativa dei minerali presenti.

La presenza di gesso, identificata in tutti i diffrattogrammi in quantità minoritarie (spesso sotto l'1%), tanto da non apparire rilevante ai fini della determinazione semi quantitativa, è invece presente in percentuale maggiore nel campione TH03.

Risulta interessante la presenza costante della dolomite in tutti i campioni vista la presenza nello studio geologico della zona di un livello di calcare parzialmente dolomizzato. Altri elementi nel suolo di cui si riscontra la presenza sono la muscovite nella famiglia delle miche e l'anortite appartenente al gruppo dei feldspati. La presenza di questi di tipi di minerali non argillosi nelle argille ha una funzione smagrante e determina una diminuzione del ritiro durante l'essiccamento.

Il campione TH02, prelievo di *adobe* da muro E178 della casa 4D, come appare dalla tabella della semi quantificazione, presenta un impasto con una relazione in percentuale tra calcite e quarzo molto equilibrata, con presenza di elementi secondari come mica e feldspati in percentuali ridotte. Il gesso, come si riscontra nel diffrattogramma, è un minerale dell'impasto in minima quantità (Tav.8.2B).

In bassa percentuale appare anche la dolomite che come detto sopra molto probabilmente è attribuibile al contesto geologico caratterizzato da calcari dolomitizzati. In piccola percentuale è presente anche un minerale, il clinocloro, appartenente ai fillosilicati del gruppo della clorite.

È importante sottolineare che durante le analisi di diffrazione tramite raggi X solo una parte dei componenti mineralogici viene identificata, quella cristallina, quindi, tutto il materiale amorfo presente rimane indeterminabile.

Per determinare i minerali presenti si osservano i picchi di rapporto riportati nei diffrattogrammi degli elementi chimici e composizioni di riferimento raccolte in tanti anni di ricerca. La lettura dei diffrattogrammi è una ricerca di tipo soggettivo, poiché la macchina non da una risposta unica, ma propone schede diffrattometriche di minerali conosciuti, che l'operatore deve saper vagliare per scegliere quelle che si avvicinano di più all'individuazione del materiale, dipendentemente dalla sua natura.

È normale che quando si analizza la materia terra, la presenza di calcite e quarzo come elementi maggioritari e di feldspati, mica e altri minerali presenti come elementi minoritari.

Il campione TH03 è un elemento architettonico proveniente dalla struttura forno E251 della casa 4H, la sua colorazione tendente al bianco giallastro si spiega con una distinta percentuale di calcite all'interno del campione. Come riportato in tabella (Fig.8.1), la calcite è il minerale maggioritario presente, il quarzo è presente, ma in bassissima percentuale. In più gli elementi secondari maggiori sono la dolomite e il gesso, quasi assenti i feldspati e mica, mentre oltre al clinocloro compare un minerale, l'halite (cloruro di sodio) (Tav.8.3A). Tra tutti i campioni presi in esame dal centro di diffrazione del CITIUS, questo è l'unico, che presenta una percentuale superiore all'1% di gesso.

Il campione TH04 è stato prelevato dalla struttura E273 denominata *grill plan* per la sua particolare forma a griglia. La composizione mineralogica non differisce molto dalle altre: minerali maggioritari calcite e quarzo, il cui rapporto semi quantitativo è pressoché lo stesso. Gli elementi secondari sono sempre gli stessi, il gesso in questo caso è presente in quantità non calcolabili (Tav.8.3B). È interessante osservare la percentuale maggiore di minerali argillosi presenti nel materiale (Fig.8.1). La natura di questo campione e la lettura di questo diffrattogramma comparato con il campione TH05 che presenta una composizione mineralogica abbastanza simile, può dimostrare una lavorazione delle terre utilizzate per costruire strutture particolari che si differenziano da quelle impiegate nella fabbricazione dei mattoni per elevare i muri.

La struttura rettangolare E252 della casa 4H è stata campionata con due prelievi: il primo (TH05) è un frammento della struttura in moduli che la costituiva e il secondo è parte del rivestimento interno (TH05a). Anche in questo caso non compaiono differenze importanti tra la composizione mineralogica delle terre escluso una percentuale maggiore di CaO (Fig.8.7).

La comparazione dei diffrattogrammi di TH05 e TH05a mostra la diversa miscelazione e percentuale dei minerali presenti nelle terre; i minerali maggioritari e minoritari sono gli stessi, ma cambiano le altezze dei picchi. In posizione 30.80 nel

campione TH05a è visibile un picco che appartiene alla dolomite assente nell'altro campione (Fig. 8.2).

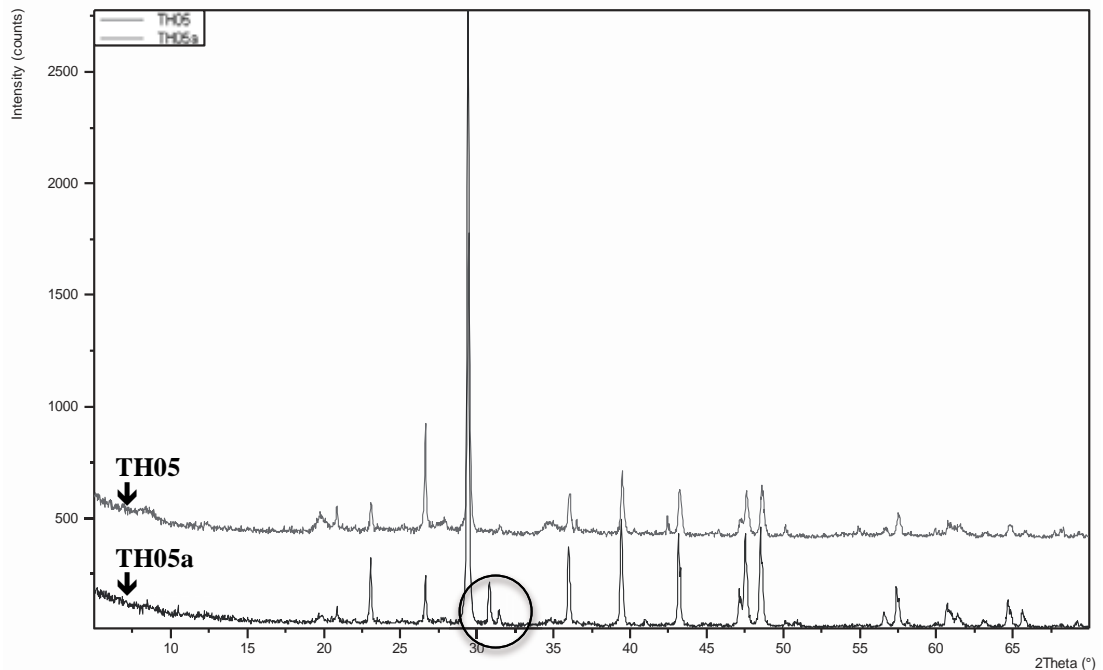


Fig. 8.2- Comparazione dei distinti diffrattogrammi dei campioni TH05 e TH05a prelevati dalla struttura silos di tipo rettangolare.

Per l'intonaco è stato analizzato dal laboratorio del CITIUS il prelievo TH11, intonaco interno del muro E193 della casa 4H. La composizione mineralogica presenta un'alta percentuale di calcite cui si aggiunge la dolomite in buona percentuale, mentre basso è il contenuto di quarzo e quasi irrilevanti gli elementi secondari (Fig.8.1). Come riportato nella comparazione dei diffrattogrammi di tutti gli altri atri prelievi d'intonaco, ottenuti con l'altro strumento di diffrazione, questo campione mostra una forte similitudine con questi ultimi e pure con i mattoni che presentano una colorazione simile (Tav.8.4).

Per la determinazione dei minerali di argilla presenti nelle composizioni mineralogiche generali, dopo aver appurato l'origine delle terre come locali e visto la

similitudine tra le varie miscele è stata effettuata l'identificazione su due campioni: il TH02 di *adobe* per i materiali aventi colorazione rossastra e TH11 d'intonaco per i materiali chiari (Tav.8.5).

Lo studio dei minerali argillosi presenti, non ha portato grandi risultati, poiché le percentuali di questi minerali, attraverso le analisi diffrattometriche, sono state molto basse. Il grafico diffrattometrico del campione TH11 mostra la distinzione di due tipi di minerali argillosi di buona qualità, caolinite e palygorskite, che offrono ottime proprietà fisiche. La caolinite è un'argilla stabile, presenta legami forti tra i pacchetti elementari, e quindi ha un comportamento meccanico buono (Facciorusso *et alii* 2011).

La palygorskite è associata naturalmente alla presenza di dolomite e magnesite, durante la disgregazione naturale di rocce preesistenti o madri (Birsoy 2002).

Un altro minerale argilloso individuato è l'illite: visto la sua origine in natura a strati misti, è un elemento possibilmente identificabile anche con la costante presenza di muscovite all'interno delle composizioni generali di ogni campione. A differenza degli altri minerali identificati, l'illite non si "gonfia", o meglio non è un minerale espandibile. L'illite ha una plasticità maggiore della caolinite senza essere molto deformabile come altri minerali espandibili tra cui la montmorillonite.

Nel diffrattogramma del campione TH02 è stata determinata anche la presenza di clorite che confermerebbe la presenza del minerale clinocloro nei grafici diffrattometrici generali.

Un elemento riscontrato in piccola percentuale, di cui la presenza sarebbe da verificare, in quasi tutti i campioni è il gesso; il diffrattogramma del campione TH23 (piccola scaglia) raccolto durante la campagna di scavo nei terreni di accumulo all'interno della casa 4H dimostra la presenza del gesso in lamine (Tav.8.6A).

Questa tipologia di solfati, per sua natura, è fonte di sali solubili che possono provocare un degrado delle strutture in concomitanza con la presenza di acqua per risalita capillare o come agente atmosferico (Bertagnin 1999, Bagliani 2009, Pittaluga 2012).

La comparazione dei diffrattogrammi dei vari campioni mi ha permesso di osservare alcune particolarità che si ripetono tra alcuni impasti. Un primo gruppo di comparazione riguarda tutti i campioni di *adobe* raccolti sullo scavo, di alcune fasi messe in luce (TH01, TH02, TH06, TH07).

Come si può notare dall'immagine che riporta la comparazione dei diffrattogrammi appartenenti ai vari mattoni crudi raccolti sullo scavo, non appaiono differenze evidenti tra di loro, le posizioni dei picchi e la loro intensità sono abbastanza omogenee e non è indicata la presenza di differenze nella ricetta degli impasti dei mattoni crudi utilizzati per costruire le pareti delle case (Tav.8.6B).

Comparando i vari elementi architettonici raccolti (*adobes* pareti, strutture, stipiti e malta di rivestimento) sono rilevabili alcune differenze negli impasti (Tav.8.7A).

Si osserva una forte omogeneità tra i campioni TH01, TH04, rispettivamente prelievo di *adobe* da muro e da struttura particolare (*grill plan*); una certa omogeneità con questi campioni la presentano anche TH05 prelievo della struttura rettangolare e TH20 malta di rivestimento delle murature. Non appaiono strutture cristalline differenti che possano evidenziare la presenza di un minerale distinto, ma l'intensità di alcuni picchi che si ripete omogeneamente tra le due tipologie d'impasto può essere utile ai fini interpretativi. L'unico dato che differenzia i vari elementi architettonici è la maggior presenza di elementi ricchi in silice come quarzo, muscovite e feldspati. Tenendo presente la tipologia e la natura del campione non risulta difficile comprendere una percentuale maggiore di questo tipo di minerali, che può essere spiegata con un'aggiunta nell'impasto d'inerti (sabbia e/o ghiaia).

Elemento che si distingue in maniera netta tra tutti è il campione TH21 stipite porta di entrata della sala principale della casa 4H. L'alta presenza di calcite nel campione produce un'elevata durezza e questa, come riportato anche da alcuni studiosi (Cooke 2010, Santarelli & Spreafico 2013), è una caratteristica utile vista la funzione dell'elemento architettonico.

Raggruppando assieme tutti i campioni che presentano una colorazione omogenea, tendente al bianco, è possibile osservare una similitudine tra i vari diffrattogrammi (Tav.8.4). In questo gruppo è osservabile una forte diminuzione dei minerali ricchi in silice sostituita da una presenza di più minerali ricchi in calcite come i carbonati di calcio presenti nei calcari e la dolomite.

Uno studio particolare è rivolto alla struttura *hornacina* (nicchia) E193 della casa 4D, che è composta, come si riscontra nella prima analisi visiva, da tre strati di terra di colorazione diversa. Questi tre prelievi di terra, sia nelle analisi chimiche che nei diffrattogrammi presentano lievi differenze tra loro (Tav.8.7B) (Fig.8.3).

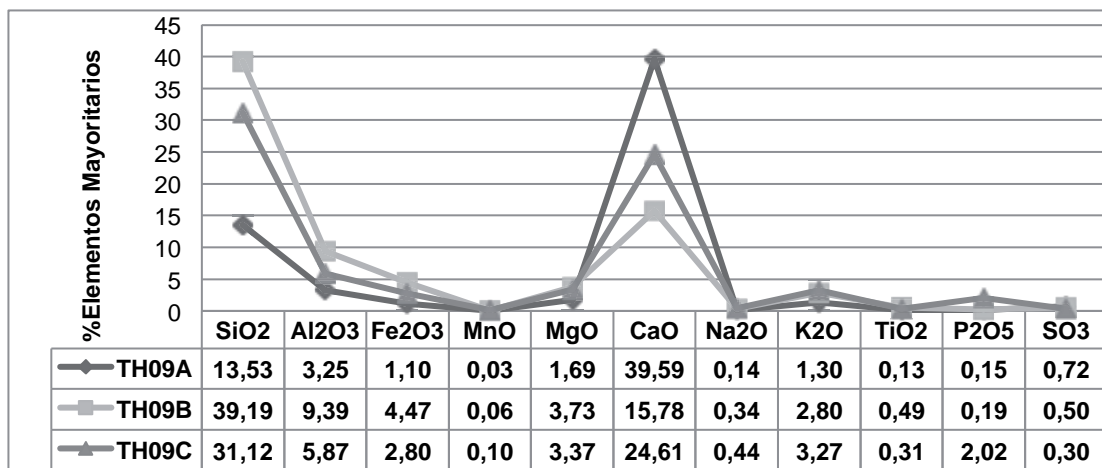


Fig. 8.3- In questo grafico sono stati elaborati i dati ottenuti attraverso la FRX dei tre livelli distinti della struttura definita nicchia.

Il campione TH9a di colore bianco nell'analisi chimica presenta una composizione mineralogica simile a tutti i materiali con colorazione tendente al bianco giallastro.

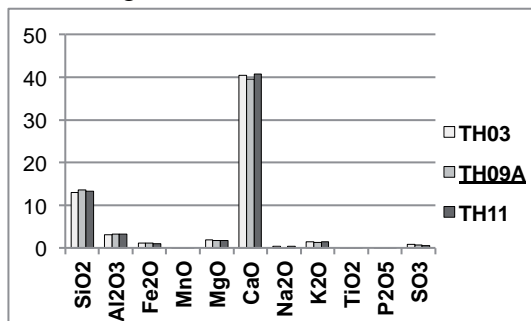


Fig. 8.4- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità biancastre.

Come dimostra il grafico qui accanto (Fig. 8.4), che riporta le composizioni chimiche delle terre dei materiali con omogeneità di colorazione, non sono presenti elementi chimici diversificabili e anche nelle percentuali non è riscontrabile disomogeneità tra le terre.

Allo stesso modo se si comparano i dati raccolti dalle analisi chimiche compiute sui mattoni crudi assieme al campione TH9b, non si osservano grandi differenze e le terre sembrerebbero eguagliarsi, senza aggiunta di materiale distinto e quindi senza una lavorazione particolare nella ricetta dell'impasto.

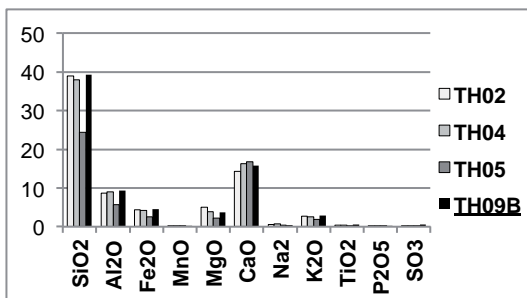


Fig. 8.5- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità aranciate.

Nel grafico l'unico materiale che presenta una composizione chimica distinta, non per la presenza di elementi diversi, ma per una differente percentuale degli elementi presenti, è il campione TH05 (Fig. 8.5). Questo dato è visibile anche dalla lettura del diffrattogramma, come riportato nelle

pagine precedenti, dove appaiono i picchi nelle posizioni proprie di alcuni minerali presenti negli altri campioni, ma con intensità di picco distinta. Ciò potrebbe significare una lavorazione della terra differente o un'aggiunta di materiale inerte nell'impasto. È molto interessante il dato proveniente dal campione TH09c, lo strato di colorazione grigia, che si trova come elemento di preparazione tra i livelli TH09a e TH09b. Nell'analisi chimica per fluorescenza, che determina gli elementi maggioritari del composto, appare una percentuale bassa, ma rilevante rispetto agli altri campioni, di fosforo.

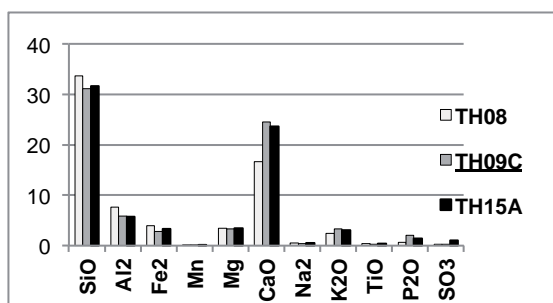


Fig. 8.6- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità grigiastre.

Nel grafico (Fig. 8.6), sono riportate le composizioni chimiche dei materiali, raccolti sullo scavo, caratterizzati da una colorazione grigiastra.

Comparando i risultati ottenuti dalle analisi del prelievo dello strato di base della canalizzazione, rinvenuta nella casa 4D (TH08), e dei due campioni di terra grigia, prelevati dalla struttura definita *hornacina*, rispettivamente TH09c dalla casa 4D e TH15a dalla casa 4H, si possono osservare delle similitudini. Oltretutto osservando i grafici anteriori e, la tabella dei

risultati della fluorescenza a raggi X, il fosforo è in concreto assente in tutti i campioni prelevati (Fig. 8.7).

Campione	Somma	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
TH02	99,40	38,99	8,64	4,38	0,08	5,11	14,31	0,55	2,64	0,48	0,17	0,25
TH03	99,56	13,00	3,09	1,07	0,03	1,84	40,53	0,39	1,45	0,13	0,14	0,83
TH04	99,68	37,96	9,06	4,22	0,07	3,92	16,22	0,79	2,59	0,48	0,15	0,32
TH05	99,40	24,31	5,66	2,53	0,05	2,30	16,76	0,38	1,81	0,28	0,13	0,13
TH05a	99,24	29,80	6,83	2,76	0,06	2,96	24,84	0,30	1,94	0,32	0,17	0,15
TH08	99,31	33,69	7,63	3,95	0,07	3,44	16,71	0,48	2,44	0,44	0,69	0,31
TH09a	99,18	13,53	3,25	1,10	0,03	1,69	39,59	0,14	1,30	0,13	0,15	0,72
TH09b	99,25	39,19	9,39	4,47	0,06	3,73	15,78	0,34	2,80	0,49	0,19	0,50
TH09c	99,47	31,12	5,87	2,80	0,10	3,37	24,61	0,44	3,27	0,31	2,02	0,30
TH11	99,37	13,25	3,16	1,03	0,03	1,77	40,80	0,35	1,39	0,13	0,15	0,53
TH15a	99,58	31,64	5,80	3,34	0,10	3,45	23,70	0,53	3,06	0,38	1,46	1,00

Fig. 8. 7 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di *Tell Halula*.

Questo risultato, ha richiesto un approfondimento specifico nello studio dei diffrattogrammi per una possibile determinazione del minerale presente, distinto grazie all'analisi chimica. Una prima determinazione del materiale è stata la possibile presenza dell'idrossiapatite (Tav.8.8A). Esiste un pigmento conosciuto come nero d'osso (nero d'avorio) che si ottiene dalla cottura (400-800° massimo), delle ossa. Le particelle nere di carbone si trovano ben distribuite in una matrice di sostanze inorganiche ossee, in concreto, di fosfato calcico, che gli dona una colorazione grigio-azzurro.

Nella lettura della sezione sottile non è possibile individuare e quindi verificare la presenza di questo elemento. Tuttavia visto la bassa percentuale, potrebbe essere presente e non individuato nella piccola scaglia montata su vetrino per la lettura microscopica. Le apatiti, minerali comuni in natura, si trovano come minerale accessorio in rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche. In questo gruppo sono presenti l'idrossiapatite e la fluoruroapatite che in ambito è uno dei maggiori costituenti di depositi minerali di sali di fosforo (Tav.8.8B).

Altro minerale individuato nei diffrattogrammi provenienti dal CITIUS è la whitlockite che nelle ossa bruciate si ottiene dalla degradazione termica

dell'idrossiapatite come riportano alcuni autori (Calvo & Gopal 1975, Hamad and Heughebaert 1986, Monge *et alii* 2013).

La presenza di whitlockite è stata citata anche come minerale biogenico, in ambito preistorico, prodotto dall'alterazione del guano in grotta (Hill & Forti 1997). Tutti questi minerali fanno parte del gruppo delle apatiti che nella scala di Mohs sono minerali semi duri con una maggiore durezza della calcite.

Comparando i diffrattogrammi delle tre terre che compongono la struttura nicchia denominata *hornacina*, risaltano le differenze composizionali osservate nel grafico dell'analisi chimica, e le distinte altezze dei picchi di riferimento mostrano la diversa miscelazione degli impasti (Tav.8.7B).

8.3.1 – Studio petrografico

Per verificare la determinazione dei minerali presenti nelle varie ricette degli impasti che compongono i materiali studiati, sono state realizzate delle sezioni sottili dei campioni per lo studio petrografico. Le sezioni sono state preparate dal Laboratorio del Dipartimento di Geologia dell'Università Autonoma di Barcellona, applicando su un vetrino, per mezzo di resina epossidica, una piccola parte del campione. In seguito, dopo l'indurimento della resina, attraverso abrasione, il provino ha raggiunto uno spessore sottile utile a permettere una buona visibilità tramite microscopio petrografico.

Le sezioni sottili sono state studiate nel Laboratorio ARCHAEO del Dipartimento di Preistoria dell'Università Autonoma di Barcellona tramite un microscopio petrografico triloculare con sistema di fotomicrografia digitale Olympus BX53-TR/POL/DP26/ST-ES/ST-S-PA. L'osservazione delle sezioni mi ha permesso l'identificazione dei distinti frammenti di roccia e di minerale che compongono le terre.

In generale, come risulta anche dalle analisi chimiche strutturali, i materiali studiati presentano una composizione marnosa, tra cui è stato possibile distinguere tre gruppi di appartenenza.

GRUPPO 1	TH01, TH02, TH04, TH06, TH07, TH08, TH18, TH20
GRUPPO 2	TH03, TH05
GRUPPO 3	TH10, TH11, TH12, TH13, TH14, TH16, TH17, TH19, TH21

GRUPPO 1: Questo gruppo è caratterizzato dalla presenza di una matrice più argillosa che limosa con bassa percentuale in minerali di dimensioni piccole e/o medio-piccole di forma non arrotondata.

Sono stati identificati i seguenti minerali:

- Quarzo monocristallino distribuito in maniera omogenea per tutta la sezione sottile. Dimensione piccola dei grani.
- Ortoclasio distribuito in maniera omogenea ma meno abbondante del quarzo. Dimensione piccola e/o medio-piccola dei grani.
- Plagioclasio presente in percentuali minime. Dimensione piccola dei grani.
- Biotite/Muscovite in forma di lamina di dimensioni piccole.

Si è osservata anche la presenza di cristalli di gesso, ma visto la posizione nelle sezioni come materiale secondario, di riempimento dei pori o di fessurazioni dei campioni, questi sono stati interpretati come elementi prodotti in processi post deposizionali. In questo gruppo sono osservabili piccolissime schegge di selce (Tav.8.9A).

GRUPPO 2: Questo gruppo diversamente dal precedente è caratterizzato da una matrice più limosa, tanto da poterle definire marne. La presenza di minerali non argillosi in questi campioni, nonostante non siano abbondanti, sono riscontrabili in concentrazioni più alte rispetto all'altro gruppo. Le dimensioni di questi minerali sono piccole e/o medio-piccole e presentano una forma più arrotondata, specialmente i carbonati.

Sono stati determinati i seguenti minerali:

- Quarzo monocristallino distribuito in maniera omogenea per tutta la sezione sottile. Dimensione piccola dei grani.
- Ortoclasio distribuito in maniera omogenea ma meno abbondante del quarzo. Dimensione piccola e/o medio-piccola dei grani.
- Calcarea micritico, distribuito in maniera omogenea, è l'elemento minerale più abbondante. Dimensioni piccola e/o medio dei grani.

Anche in questo gruppo è possibile determinare la presenza di elementi minerali formati in processo post-deposizionale, come gesso e carbonati di origine secondaria. I due minerali si riconoscono seguendo o riempiendo i vuoti e le fessurazioni delle sezioni sottili (Tav.8.9B).

GRUPPO 3: Questo gruppo assomiglia molto a quello di prima, con matrice più limosa che argillosa, anche se al contrario del precedente non si può definire composto da marne. Anche in questo caso la concentrazione di minerali secondari risulta maggiore, di dimensione da piccola a media con forma più arrotondata.

Sono stati determinati i seguenti minerali:

- Quarzo monocristallino in bassa percentuale. Dimensione da piccola a molto piccola dei grani.
- Ortoclasio in bassa percentuale. Dimensione piccola dei grani.
- Biotite/Muscovite in forma di lamina di dimensioni piccole.
- Frammenti di roccia corrispondenti a calcareniti (Tav.8.9C).

- Resti fossili, dispersi nei campioni, come frammenti di conchiglia non identificabili.

Purtroppo la non identificabilità dei resti fossili non permette una sequenza cronologica dei resti animali (Tav.8.9D-E). Come nel gruppo precedente si riscontrano la presenza di gesso e carbonati di origine secondaria (Tav.8.9F).

8.3.2 - Conclusioni

Nell'insieme i dati ottenuti mostrano, visto l'omogeneità tra le terre dei prelievi, un approvvigionamento locale vista la presenza in buona percentuale di dolomite che riprenderebbe gli studi geologici effettuati in passato nelle aree limitrofe.

È possibile distinguere due tipologie d'impasto, la prima utilizzata per la costruzione di elementi strutturali (adobe) e l'altra impiegata a fine estetico come rivestimento di rifinitura (intonaco). Comparando i risultati è abbastanza ricorrente la presenza, in percentuali maggiori, di dolomite negli elementi architettonici con colorazione bianca. Questo potrebbe indicare un'aggiunta volontaria di un calcare dolomitico finemente triturato e lavorato per ottenere un prodotto spalmabile di colorazione bianca, com'è dimostrato anche in altri insediamenti con pitture parietali (Gonzalez 2009, Coqueugniot 2014). Questa ipotesi è importante poiché dimostrerebbe la più alta presenza di calcite, ma non proporrebbe un'aggiunta intenzionale di calce prodotta attraverso cottura e spegnimento dei calcari, anche se non è del tutto scartabile visto la pavimentazione dura e lucida della sala principale.

A livello di sviluppo della tecnica costruttiva il prelievo dello strato grigio, presente solo in alcune tipologie strutturali, permette di ipotizzare una conoscenza empirica maggiore vista, la probabile preparazione di un prodotto a base di fosfato volutamente inserito negli impasti. È un dato importante presente costantemente durante la determinazione attraverso fluorescenza a raggi X.

Purtroppo il basso numero di campioni e la poca quantità in percentuale del minerale non hanno permesso di comprendere la reale natura del campione, ma solo di poter fare alcune ipotesi. Una di queste è la probabile aggiunta intenzionale di cenere o la macinazione di ossa bruciate. La composizione mineralogica di questi campioni, attraverso diffrazione a raggi X, ha indicato solo alcuni minerali della famiglia delle apatiti (Idrossilapatite, Fluoroapatite, Whitelockite), ma il fosforo in natura è presente in altri materiali.

Questo dato richiede un approfondimento poiché penso sia un elemento importante per la conoscenza della tradizione tecnica, oltretutto visto la colorazione grigia della pavimentazione della sala principale potrebbe essere legato anche alla preparazione del suolo.

La presenza di conchiglie frantumate non riconoscibili, nello studio petrografico di alcuni campioni, fa ipotizzare una macinazione anteriore all'aggiunta nell'impasto degli intonaci, e ci permette di supporre una lavorazione delle terre prima del loro impiego. Questa teoria è confermata anche dalla presenza del prodotto a base di fosforo nei campioni con colorazione grigia.

8.4 - Risultati e discussione delle analisi dei materiali provenienti da *Yumuktepe*

Anche per i campioni del sito archeologico di *Yumuktepe* situato in Turchia, sono state compiute le stesse analisi: DRX, FRX, dai due distinti laboratori. Poiché la preparazione dei campioni e le fasi successive sono le stesse, in questo caso saranno presentati solo i risultati con l'ordine seguito in precedenza. Prima presenterò i risultati del CITIUS, accompagnati allo studio di FRX e infine i dati di comparazione dei vari diffrattogrammi ottenuti dallo studio di alcuni campioni prelevati sul sito al laboratorio di diffrazione di raggi X dell'Università Autonoma di Barcellona.

Questi campioni sono stati analizzati tramite misurazione con microscopio SEM, grazie alla collaborazione con l'Università di Scienze dei Materiali di Lecce, con la supervisione del Prof. Antonio Serra. Purtroppo un danno grave alla strumentazione, ancora oggi non risolto, ha causato la perdita di una buona parte delle analisi e l'impossibile applicazione della metodologia agli altri campioni. Si riportano solo alcuni dati di quattro campioni provenienti dal sito, che essendo stati presentati in una tesi sperimentale, a differenza degli altri, non sono andati perduti. Le osservazioni sono state compiute mediante elettroni retro diffusi, accelerati da una tensione di 20 kV ad una pressione residua di 100 Pa.

Nella presentazione dei risultati ottenuti è importante tener presente che alcuni campioni raccolti hanno subito una trasformazione fisica causata da incendio. Questa trasformazione, come dimostra il colore e la durezza di alcuni campioni, può presentare fasi mineralogiche distinte dovute al calore al quale sono stati sottoposti i campioni.

Essendo questo lavoro una ricerca preliminare, mi è sembrato interessante analizzare anche i campioni bruciati per comprendere meglio la composizione mineralogica, attraverso le trasformazioni fisiche e chimiche del materiale.

Trattandosi di materiale terra, non sorprende che la composizione mineralogica generale sia sempre formata da calcite e quarzo come minerali maggioritari e da feldspati, ortoclasie e plagioclasie come minerali secondari.

Nell'insieme i materiali presentano una composizione mineralogica molto omogenea, esclusi i campioni caratterizzati da una colorazione biancastra che presentano elevate percentuali di calcite (YT08c/YT10). Da evidenziare l'alto contenuto di fillosilicati nella maggioranza dei campioni, esclusi sempre quelli caratterizzati da colorazione bianca e i campioni che hanno subito una parziale cottura causata da incendio (YT05/YT10). Tenendo presente che dei fillosilicati fanno parte due gruppi importanti, le argille e le miche, questa alta percentuale può indicare delle terre molto sabbiose o al contrario ricche in argilla.

Campione	Calcite %	Quarzo %	Feldspato %	Fillosilicato %	Dolomite %
YT01	47	17	7	27	2
YT03	44	36	11	9	-
YT06	45	17	6	30	2
YT07	44	21	4	31	-
YT8a	40	21	5	30	4
YT8b	40	22	3	34	1
YT8c	71	9	2	15	3
YT09	35	15	4	44	2
YT10	64	24	6	4	2
YT11	55	30	9	8	-
YT12	38	17	4	39	2

Fig. 8.8 – In questa tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di *Yumuktepe*.

Un dato interessante che si osserva nella semi quantificazione dei minerali presenti nell'impasto sono i risultati ottenuti dai campioni che hanno subito una parziale cottura che evidentemente ha causato una modifica nella composizione mineralogica (Fig.8.8). L'assenza della dolomite potrebbe essere spiegata attraverso la decomposizione dei carbonati, durante la cottura, che libera anidride carbonica e il rispettivo ossido. In particolare, a partire dai 550° C, i grani di calcite si trasformano in aggregati fini e si diffondono nella matrice argillosa (Riccardi *et alii* 1999).

La piccola percentuale di dolomite presente negli altri campioni, in questo caso potrebbe essere stata “trasformata” in quarzo e feldspati, elemento riscontrabile anche nelle percentuali della determinazione semi quantitativa della composizione mineralogica.

Il campione YT03, prelievo d'intonaco di rivestimento neolitico da E3/F3 A200 com'è stato descritto sopra ha subito delle lievi modifiche nella composizione mineralogica dovute alla parziale cottura. Trattandosi di un intonaco questo materiale non si è essiccato prima della sua messa in opera, ma al contrario è stato applicato

come reinvestimento delle strutture murarie. Anche dall'analisi macroscopica è possibile osservare la sua struttura particolare composta da alta concentrazione di elementi vegetali di media dimensioni orientanti nella stessa direzione⁶⁴.

Nel diffrattogramma appare, come nella semi quantificazione, una percentuale tra calcite e quarzo abbastanza simile, senza la predominanza di uno dei due minerali maggioritari (Tav.8.10A). Come elementi secondari sono presenti l'actinolite, del gruppo degli anfiboli, l'albite come feldspato contenente sodio e la muscovite del gruppo delle miche. È presente in piccole percentuali anche un ossido di ferro identificato con ematite che potrebbe spiegare il colore tendente al bruno-rossastro dei vari prelievi.

Il campione YT11 è un prelievo del crollo di un muro dell'ambiente A517 del periodo ittita. I risultati dell'analisi non si differenziano molto da quelle del campione precedente, molto probabilmente anche perché i due materiali hanno subito la stessa parziale cottura. Unico minerale distinto presente nella DRX è l'ortoclasio, anche questo facente parte del gruppo dei feldspati (Tav.8.10B).

Anche nella tabella che mostra i risultati ottenuti dall'analisi chimica tramite FRX non sono visibili differenze importanti tra i vari campioni studiati. La presenza di un alto contenuto in silice (SiO₂) potrebbe confermare l'ipotesi che i reperti siano fabbricati con terre caratterizzate da una matrice sabbiosa (Fig.8.9).

Campione	Somma	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
YT01	99,21	34,59	6,68	4,27	0,08	4,86	22,55	0,41	1,74	0,44	0,10	0,04
YT03	99,29	43,17	7,43	6,88	0,14	5,69	19,62	0,58	2,08	0,69	0,20	0,07
YT06	99,20	35,36	7,12	3,80	0,06	3,50	23,50	0,45	2,10	0,39	0,15	0,04
YT07	99,29	45,46	8,51	6,08	0,14	3,94	14,49	0,37	2,17	0,60	0,62	0,04
YT08a	99,29	42,53	7,48	5,38	0,11	3,85	16,78	0,37	1,96	0,53	1,00	0,04
YT08b	99,26	40,46	6,30	4,52	0,11	3,92	18,61	0,33	1,93	0,45	0,69	0,06
YT08c	99,17	41,40	2,82	2,12	0,09	1,98	21,89	0,17	0,95	0,19	0,60	0,10
YT09	99,22	34,45	6,96	4,64	0,07	5,07	21,57	0,41	1,70	0,46	0,12	0,04
YT10	99,24	36,24	6,75	4,78	0,15	4,06	21,47	0,36	1,82	0,50	0,46	0,05
YT11	99,24	44,48	7,67	5,70	0,11	4,01	18,70	0,46	3,17	0,55	0,65	0,08
YT12	99,22	41,35	7,77	4,87	0,11	3,87	16,31	0,45	2,77	0,49	0,64	0,04

Fig.8.9 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di *Yumuktepe*.

⁶⁴ Vedere la scheda di catalogazione n. 25 a pag. 236.

Comparando i risultati dei campioni bruciati assieme a quelli dello stesso periodo che non hanno subito parziale cottura, è possibile osservare che alcune fasi mineralogiche nei diffrattogrammi dei primi sono assenti (Tav.8.11A). Quasi sicuramente, nonostante non siano stati cotti in forni a temperatura costante, il contatto con il fuoco ad alte temperature ha modificato in parte la composizione mineralogica delle terre di origine.

Il prelievo di *adobe* del neolitico, YT01, raccolto durante la campagna del 2007 non mostra grandi differenze dagli altri campioni di mattone crudo raccolti. I minerali maggioritari sono sempre calcite e quarzo, con una percentuale più alta di calcite e con una buona percentuale di fillosilicati. Tra questi si presentano la muscovite, il clinocloro e il crisotilo, coerentemente a quanto è apparso nelle analisi della maggioranza dei campioni, come la presenza in piccola percentuale di feldspati e anfiboli (Tav.8.11B).

Le terre che compongono i materiali del periodo calcolitico sono state analizzate prelevando due campioni delle distinte fasi di occupazione identificate come Livello XV (YT06) e Livello XVI (YT07) fase più antica conosciuta grazie alla cittadella fortificata di Garstang. I risultati ottenuti dalla DRX sia a livello compositivo che in semi quantificazione mostrano un'alta similitudine tra i due campioni. I minerali maggioritari sono sempre la calcite e il quarzo, sempre in rapporto maggiore per la calcite e come minoritari si ritrovano feldspati e una buona percentuale di fillosilicati. Un dato interessante proviene dall'analisi chimica dei due campioni. Se si comparano i risultati della composizione mineralogica ottenuti tramite DRX e FRX si possono notare alcune lievi differenze nelle ricette (Fig.8.10).

Mentre le fasi mineralogiche presenti sono le stesse, nella fluorescenza appare un maggiore contenuto di calce nel campione YT del Livello XV. Questo dato potrebbe indicare un'aggiunta di calce nell'impasto o una lavorazione distinta delle terre.

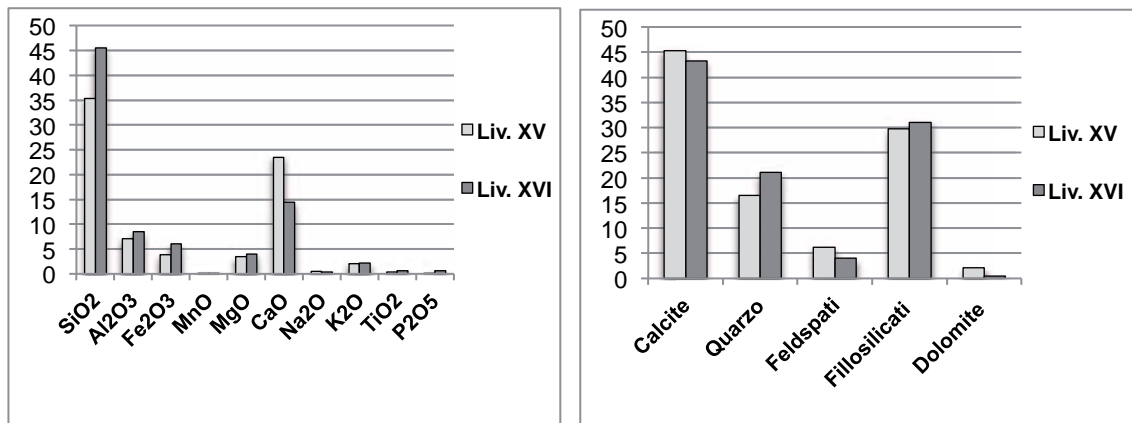


Fig.8.10 – Comparazione dei dati ottenuti dalla FRX dei campioni YT06 e YT07 a sinistra, mentre a destra è riportato i grafici ottenuti dalla DRX degli stessi campioni.

Il frammento di livello pavimentale calcolitico, è stato analizzato distinguendo i tre strati che componevano il prelievo. Trattandosi di un pavimento in terra battuta si è deciso di analizzarne un frammento per vedere se fosse stato possibile individuare un'eventuale lavorazione del suolo o si trattasse di una semplice compattazione del terreno. Dalle analisi effettuate sui tre campioni (YT08a, YT08b, YT08c) appare qualche differenza tra i tre livelli e soprattutto nello strato più superficiale, come si riscontra anche nella semi quantificazione (Fig.8.8). Osservando anche i diffrattogrammi si nota l'intensità molto più elevata dei picchi di riferimento dei minerali identificati con actinolite (anfibolo) e clinocloro, cosa che spiegherebbe anche la maggior percentuale di fillosilicati (Tav.8.12A).

La presenza di dolomite non è indicativa poiché appare anche negli altri due prelievi. Dal risultato ottenuto dalla fluorescenza a raggi X non è facile capire se sia stato applicato uno strato superficiale contenente calce o sia stato l'effetto della compattazione a portare in superficie la calcite. Infatti, come riporta il grafico in basso (Fig. 8.11), tra i tre strati al livello chimico non compaiono grosse differenze composizionali.

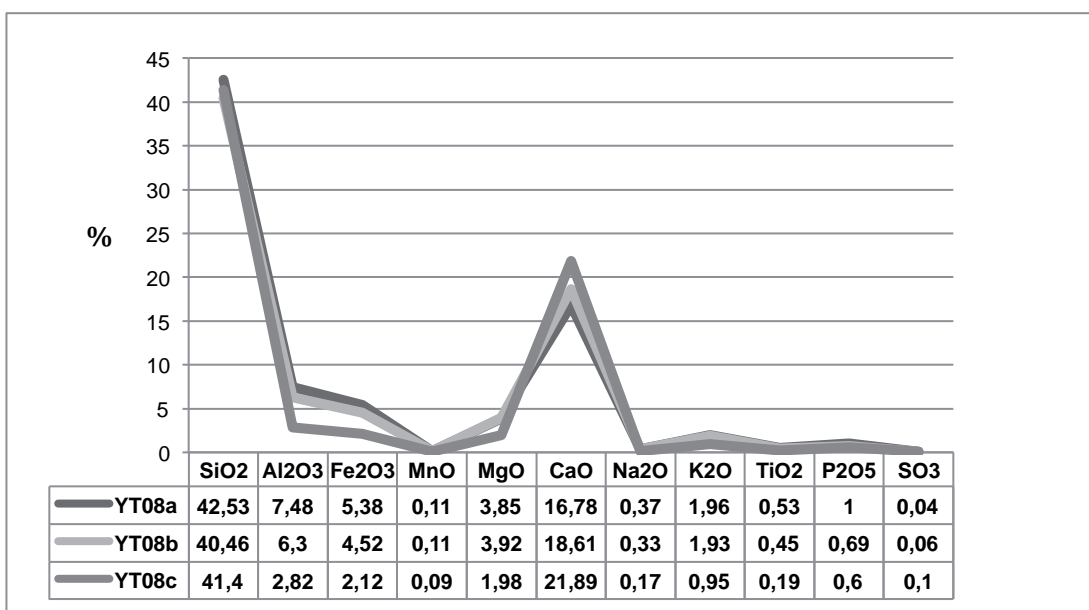


Fig. 8.11 – Grafico di comparazione dei risultati della FRX delle terre che compongono il frammento di pavimentazione calcolitica.

Per il periodo del bronzo, grazie al ritrovamento delle fondazioni e al successivo scavo, è stato possibile campionare sia la terra parte dei mattoni crudi che la malta di posa per l'allettamento (YT09, YT10). Nella comparazione dei diffrattogrammi non appaiono grandi differenze ed è possibile confermare solo la distinta percentuale presente nella semi quantificazione grazie all'altezza e ampiezza dei picchi di riferimento (Tav8.12B).

I minerali maggioritari sono calcite e quarzo, però come appare nella semi quantificazione, la calcite si presenta in percentuale più elevata, mentre a differenza delle altre terre che compongono i mattoni, nella malta appare un numero ridotto di fillosilicati (Fig.8.12).

In questo caso dalla composizione chimica ottenuta attraverso fluorescenza, i due campioni non mostrano percentuali differenti nel contenuto di calce a differenza di quello che compare nella diffrazione. Sarebbe utile approfondire ulteriormente la ricerca eseguendo la prova calcimetrica che determina la presenza di carbonato di calcio nei campioni.

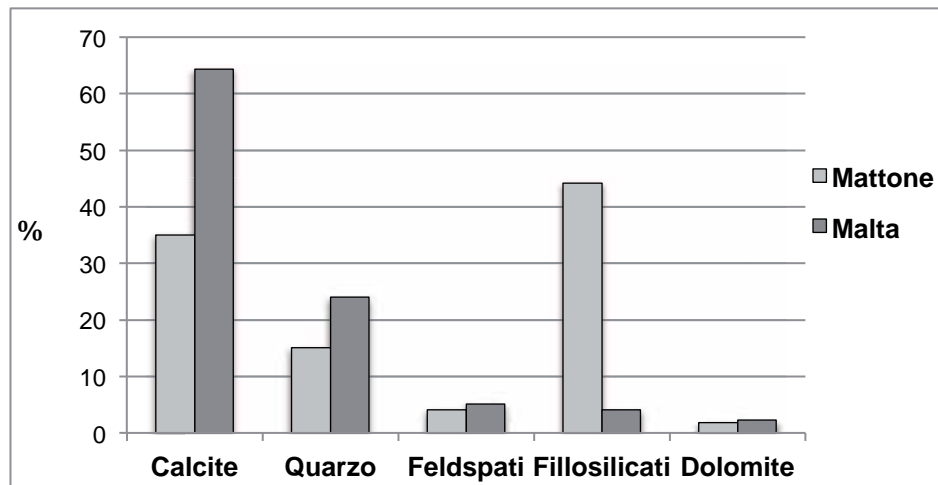


Fig. 8.12 – Grafico della semi quantificazione dei risultati ottenuti dall’analisi DRX del mattone e della malta del bronzo.

Il campione YT12, mattone ittita prelevato dall’ambiente A500, non avendo subito nessun processo di alterazione presenta nella semi quantificazione livelli più bassi di quarzo e una percentuale molto più alta di fillosilicati (Fig.8.8). In questo campione e in generale anche negli altri, i minerali principali sono calcite e il quarzo, anche se è presente un’alta percentuale di fillosilicati poiché a questa classe appartengono diversi minerali, tra cui i due gruppi più importanti: i minerali di argilla (Illite, Kaolinite, Palygorskite, etc.) e le miche (Muscovite, Biotite, etc.).

Osservando il diffrattogramma i fillosilicati presenti si possono distinguere in clinocloro, minerale appartenente al gruppo della clorite, la muscovite appartenente al gruppo delle miche e infine il crisotilo un minerale della classe dei silicati (Tav.8.13A).

A questi minerali maggioritari, nella composizione si aggiungono feldspati (ortoclasio e albite) e anfiboli (actinolite) in piccole percentuali.

Di alcuni campioni (YT03/YT04/YT05/YT11) si presenta anche l’indagine attraverso l’ausilio del microscopio elettronico a scansione (SEM) che ha fornito informazioni sulla morfologia e microstruttura dei reperti (Fig.8.13). Grazie all’analisi delle immagini è stato possibile fare una prima valutazione granulometrica

dei reperti, la quale ha rilevato la matrice di natura limosa-argillosa dei campioni costituiti da cristalliti aventi dimensioni medie comprese tra 5 e 40 μm .

Nelle mappature composizionali riportate nella tesi sperimentale del campione Yt05/03 le inclusioni presenti sono cristalliti costituite in prevalenza da ferro e calcio, che mascherando il segnale di fondo denotano l'assenza di silicio, alluminio e magnesio. Le concentrazioni atomiche rilevate dal microscopio elettronico a scansione rilevano che gli elementi maggioritari dei campioni presi in esame sono: alluminio, silicio, calcio, ferro, magnesio e potassio.

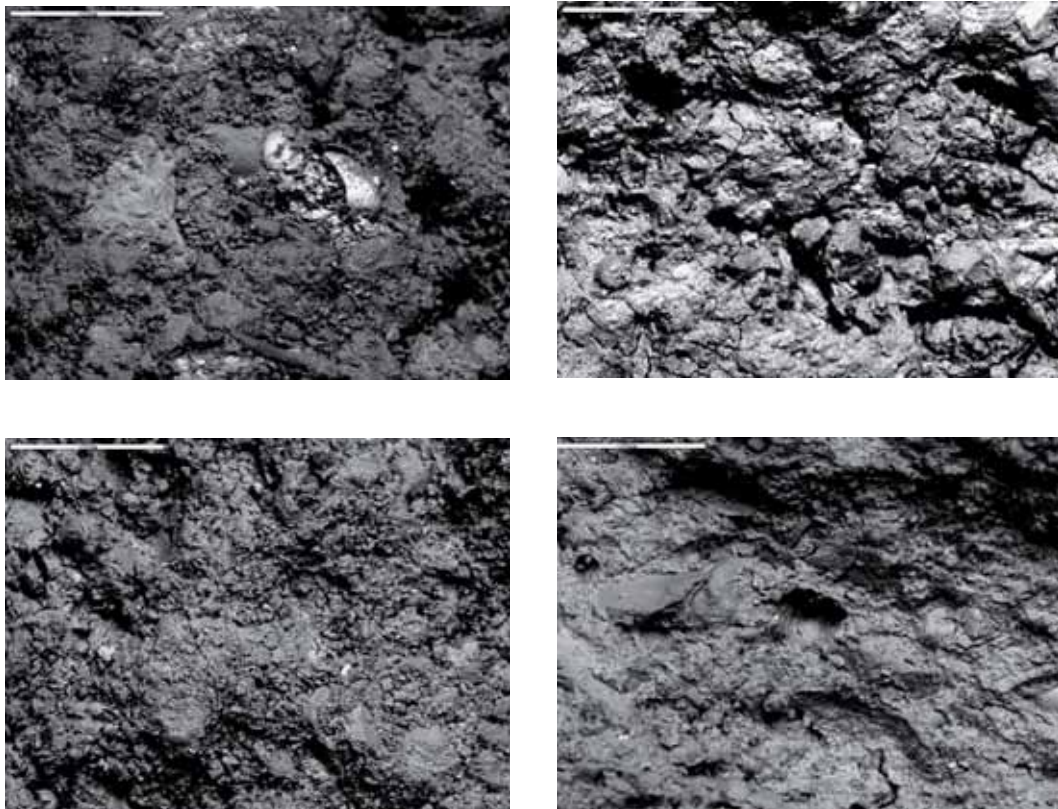


Fig. 8.13 – Immagini ottenute tramite microscopio elettronico a scansione (SEM)(Scala 200 μm). In alto a sinistra YT03, YT04 a destra, mentre in basso a sinistra YT05 e YT11

Sull'identificazione di trasformazioni causate da calore, a differenza delle osservazioni esposte prima, in questo studio non essendo possibile comparare i dati con elementi che non hanno subito una parziale cottura si afferma che non sono visibili modificazioni strutturali dovute ad alte temperature (superiori ai 600°C).

La comparazione dei diffrattogrammi di tutti i mattoni crudi raccolti dalle diverse fasi di occupazione riconosciute nel sito archeologico non mostra grosse differenze a livello composizionale (Tav.8.13B). La variazione delle intensità dei picchi di riferimento di alcuni minerali può riferirsi ad una miscelazione differente delle terre, ma in generale appare una certa omogeneità che indica un approvvigionamento locale comune. Osservando il grafico, l'assenza dei picchi in posizione angolare 31° (tipica della dolomite) potrebbe suggerire l'origine di terre più simili tra le fasi di occupazione più recenti in confronto a quelle preistoriche. Anche se la terra impiegata nei mattoni crudi ittiti presenta un'altezza dei picchi secondari distinta. Anche in questo caso si è deciso di eseguire la determinazione delle argille presenti negli impasti attraverso l'analisi di un campione di mattone calcolitico dopo le varie operazioni di preparazione presentate in precedenza. I risultati mostrano la presenza di argille di buona qualità come la kaolinite e l'illite (Fig.8.14).

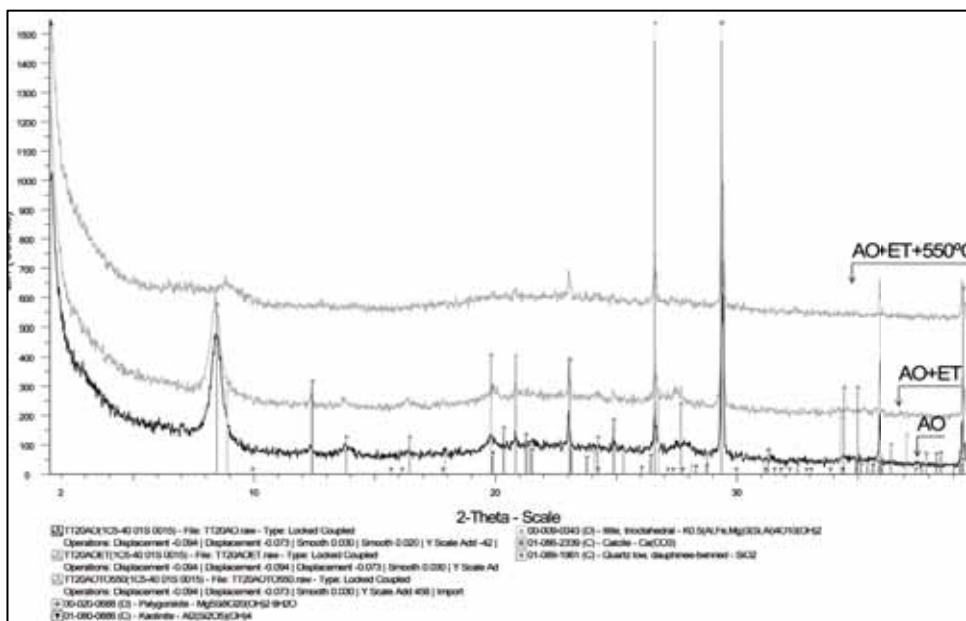


Fig. 8.14 - Diffrattogramma della determinazione dei minerali argillosi presenti nelle terre di *Yumuktepe* (AO=Aggregato Orientato; ET=Glicole Etilenico).

Questi due minerali di argilla non essendo caratterizzati da un reticolo espandibile, sono molto stabili e rigonfiano poco al contatto con acqua. Mentre l'individuazione di palygorskite è interessante poiché lo studio della successione sedimentaria, permette ricostruzioni paleoclimatiche.

Oltre a una visione generale dei campioni, al laboratorio di diffrazione dell'Università Autonoma di Barcellona sono state eseguite le analisi su due campioni di mattone calcolitico che presentavano colorazione differente (Tav.8.14A-B). I risultati ottenuti hanno permesso di comprendere meglio le potenzialità e i limiti dell'analisi tramite diffrazione a raggi-X. Anche in questo caso la comparazione fra i due diffrattogrammi presenta solo una grossa differenza nelle altezze dei picchi di riferimento dei minerali maggioritari, quali calcite e quarzo (Tav.8.14C). A livello compositivo nella determinazione mineralogica generale, le percentuali cambiano soprattutto nella più alta concentrazione di feldspati e fillosilicati del prelievo di mattone rosso (Fig. 8.15).

Nonostante la diffrazione non ci dia molte informazioni, osservando attentamente i due reperti si possono vedere delle differenze importanti a livello macroscopico (Tav.8.14D-E).

La matrice fina che caratterizza i campioni, appare di tipo sabbioso nel prelievo di mattone rosso, mentre sembra più argillosa nel campione di mattone bianco. A livello d'inclusi si nota la completa assenza di elementi vegetali nel mattone rosso con una percentuale più alta di sabbia, elementi presenti in maniera opposta nel mattone bianco. Queste differenze indicano una lavorazione voluta e distinta delle terre.

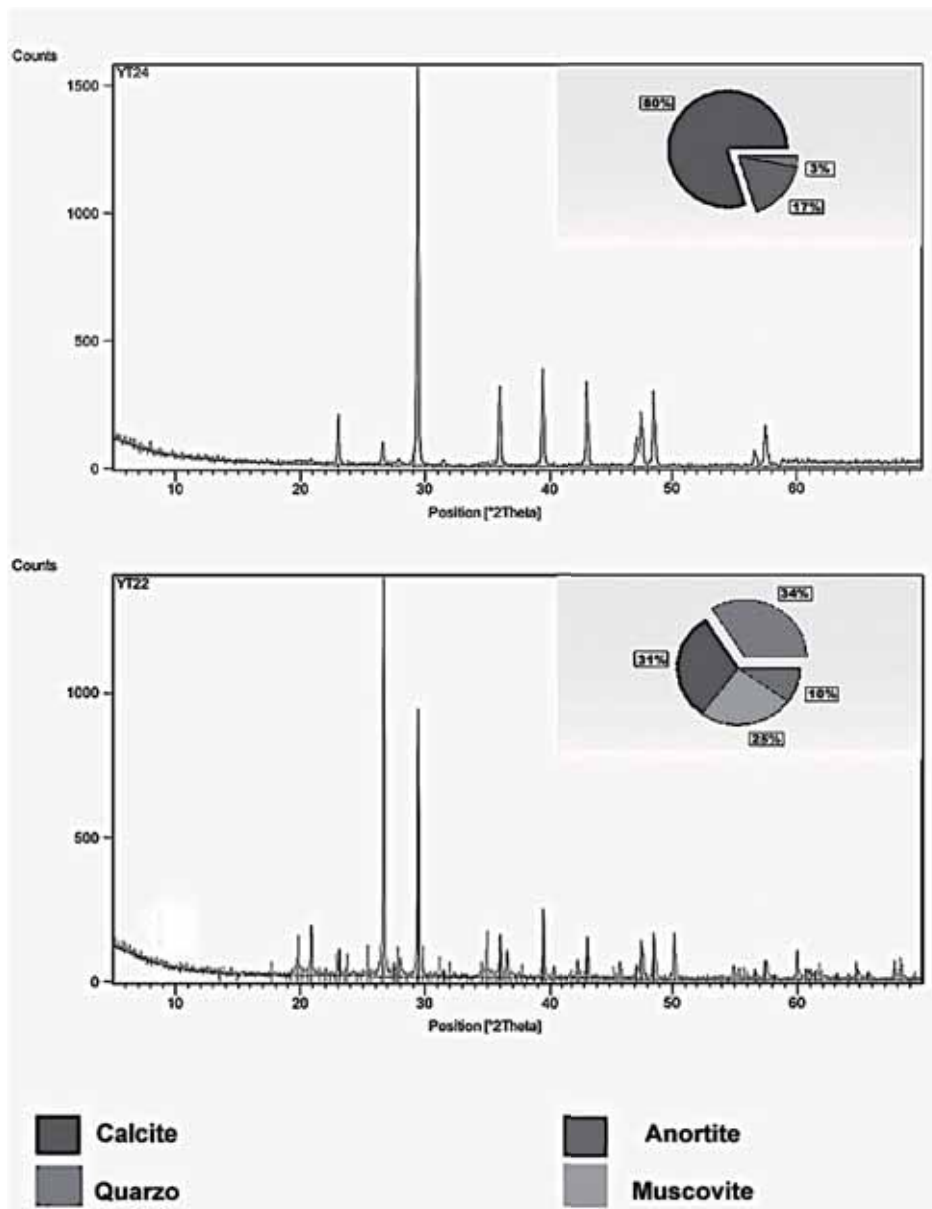


Fig. 8.15 - Comparazione diffrattogrammi mattone bianco (YT24) e mattone rosso (YT22).

8.4.1 – Studio petrografico

Lo studio petrografico dei reperti provenienti dal sito archeologico di *Yumuktepe* è stato compiuto dal laboratorio petrografico del CNR-IBAM (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali), che mediante le sue competenze multidisciplinari, i suoi laboratori e le sue attrezzature rappresenta, in Italia, un punto di riferimento a largo spettro sui beni culturali per le attività di studio e di ricerca.

In questo caso si è scelto di eseguire lo studio petrografico solo di quattro campioni che rappresentassero le fasi cronologiche identificate nel sito archeologico. Nell'insieme nei campioni è possibile osservare i minerali riconosciuti attraverso le analisi tramite diffrazione a raggi X e fluorescenza a raggi X.

Come si osserva in tabella la matrice è di tipo calcareo-argillosa omogenea, con prevalenza della frazione calcarea, con omogeneità nella presenza di componenti secondari con il riconoscimento di feldspati, selce e ofioliti (Fig.8.16). La presenza di ofioliti è importante perché assieme ai risultati ottenuti tramite DRX con l'identificazione in tutti i campioni di crisotilo, ci permette di caratterizzare il suolo locale ricco in serpentino. In questo momento non è presente uno studio geologico della zona, dove sorge il sito archeologico di *Yumuktepe*, ma questo dato è quasi certo, visto la sua coerenza e presenza nelle varie analisi effettuate.

sigla	massa di fondo	tipo di inclusi	granulometria inclusi (µm)	tipo di vuoti	colore Munsell	note
YT01 Neolitico (Tav.15A-B)	calcereo-argillosa omogenea, con prevalenza della frazione calcarea	cc-m, cc-mspa, cc-spa, qtz-m, feld, ofiol, sel, qtz p, anf, Fe-ox, carb	70-150 (30-350)	pori	10YR 6/2	
YT08 Calcolitico (Tav.15C-D)	calcereo-argillosa eterogenea, con prevalenza della frazione calcarea	cc-m, cc-mspa, cc-spa, qtz-m, feld, ofiol, sel, calced, anf, msv, Fe-ox, carb, os, vulc	70-200 (30-1150)	pori	7.5YR 5/3	
YT10 Bronzo (Tav.15E)	calcereo-argillosa omogenea, con prevalenza della frazione calcarea	cc-m, cc-mspa, qtz-m, feld, ofiol, sel, cc-spa, Fe-ox, intr, carb	70-200 (30-1300)	pori	7.5YR 3/2	presenza di un grosso cristallo di quarzo policristallino di origine vulcanica intrusiva
YT12 Ittita (Tav.15F)	calcereo-argillosa omogenea, con prevalenza della frazione calcarea	cc-m, cc-mspa, cc-spa, qtz-m, feld, ofiol, sel, msv, qtz-p, anf, ol, intr, Fe-ox, carb	70-250 (30-700)	pori, microcavità	10YR 5/3	presenza di alcuni grossi cristalli di feldspati di origine vulcanica intrusiva

cc-m =	calcarea micritica	qtz-m =	quarzo monocrist.	carb =	carbone	anf =	anfibioli	Fe-ox =	ossidi di ferro
cc-spa =	calcarea sparitica	qtz-p =	quarzo policrist.	vulc =	rocce effusive	ol =	olivina	os =	frammenti di ossa
cc-mspa =	calcarea microsparitica	feld =	feldspati	intr =	rocce intrusive	ofiol =	ofioliti		
sel =	selce	calced =	calcedonio			msv =	muscovite		

aaaa= componenti principali, **aaaa**= componenti secondari, aaaa= componenti in traccia

Fig. 8.16 – Tabella della lettura petrografica delle sezioni sottili dell'insediamento di *Yumuktepe*.

Un dato interessante riguarda lo studio petrografico effettuato sul livello pavimentale del calcolitico (YT08), dove è possibile osservare, nella sezione sottile, alcuni frammenti di osso che confermerebbero l'ipotesi di un piano di frequentazione, anche se a livello stratigrafico è stato identificato grazie alla base del forno poiché i limiti esterni non erano ben delineati (Tav.8.15C).

8.4.2 - Conclusioni

Nell'insieme i dati ottenuti attraverso le analisi chimiche e mineralogiche mostrano una forte omogeneità delle terre. Questo ci indica un'origine locale comune senza la presenza di diversi punti di approvvigionamento delle terre durante le varie fasi cronologiche distinte. Come risulta anche dallo studio petrografico le terre sono caratterizzate con una matrice calcareo argillosa con una buona presenza in percentuale di serpentini.

Dalle analisi chimiche appare un'alta percentuale di silicio che si riscontra anche osservando la tabella del calcolo semi quantitativo delle fasi mineralogiche presenti con le percentuali di quarzo e fillosilicati. Il dato ci permette di sostenere che i campioni sono caratterizzati da impasti con una buona percentuale di sabbia. Tuttavia, attraverso questa tipologia di analisi, non è possibile determinare la loro natura e dichiarare che si possa trattare di un'aggiunta intenzionale per migliorare la resistenza e ritrazione della terra di origine.

Si può ipotizzare una lavorazione distinta fra le ricette degli impasti impiegati durante i periodi preistorici e quello ittita. Non sembra trattarsi di un approvvigionamento distinto della terra, ma piuttosto di una diversa ricetta dell'impasto impiegato.

Le analisi compiute sui mattoni con colorazione differente ci permettono di ipotizzare una conoscenza da parte dei produttori delle caratteristiche fisiche della terra impiegata per produrre i mattoni. Infatti, come descritto in precedenza una terra povera di calcite e ricca di sabbia non ha bisogno di un'aggiunta intenzionale di fibre vegetali come smagranti. Al contrario, una terra più plastica e meno sabbiosa, deve contenere una minima percentuale di paglia per non creare fessure durante la ritrazione causata dall'essiccamento.

8.5 - Risultati e discussione delle analisi dei materiali provenienti da *Tell Tuqan*

Purtroppo per l'insediamento archeologico di *Tell Tuqan* non è stato possibile approfondire gli obiettivi preposti all'inizio della ricerca. Mentre è stato possibile eseguire un campionamento esaustivo a *Tell Halula* prima della crisi siriana, la campagna di scavo prevista nel maggio del 2011, visto il susseguirsi degli avvenimenti, è stata cancellata. Trattandosi del primo insediamento cui ho rivolto il mio interesse, per lo studio dell'architettura in terra, è possibile presentare i dati già pubblicati del lavoro preliminare effettuato durante la stesura della tesi universitaria (Quarta, Marchiori e Melica 2014). A questi sono affiancati i risultati ottenuti tramite analisi chimica e mineralogica di alcuni campioni nuovi raccolti nell'ultima campagna di scavo del 2010.

La prima indagine eseguita sulle terre impiegate a *Tell Tuqan* è stata mirata per determinare l'approvvigionamento locale delle terre, il cambiamento degli impasti nella sequenza cronologica e l'incidenza della composizione mineralogica nella diversa colorazione dei mattoni. Per ottenere queste informazioni sono state eseguite analisi per determinare la composizione mineralogica generale e dei minerali argillosi (diffrazione a raggi x), determinazione contenuto carbonati attraverso calcimetria, determinazione frazioni granulometriche costituenti l'impasto mediante analisi granulometrica e studio petrografico (Tav. 8.16A). Da questo studio preliminare è stato osservato che le terre con cui sono costruiti i mattoni presentano un'alta percentuale di calcite e in generale si presentano abbastanza omogenee (Fig.8.17).

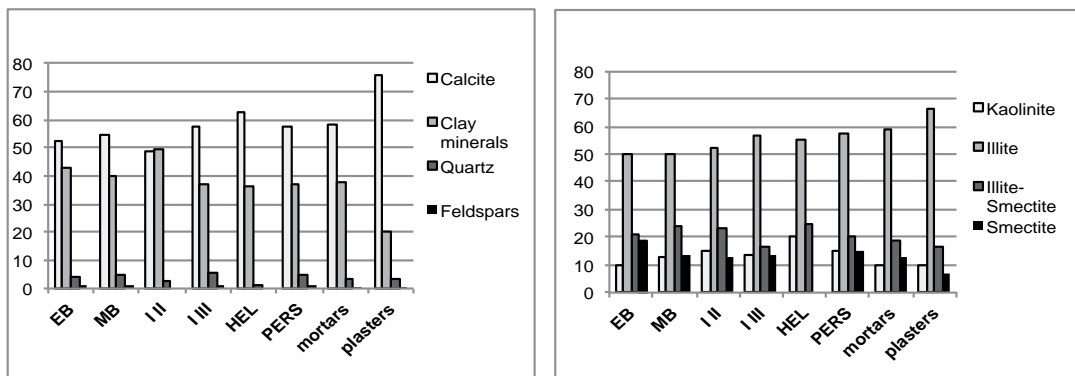


Fig. 8.17 - In questi grafici si osservano le composizioni mineralogiche ottenute dalla media dei dati raccolti dalle analisi compiute su campioni di mattone crudo (Immagine da Quarta, Marchiori e

L'indagine sull'incidenza della composizione mineralogica nella diversa colorazione dei mattoni ha mostrato una certa correlazione con la presenza in percentuale di minerali argillosi e di calcite (Fig. 8.18). Sembra che all'aumentare della calcite sia visibile una diminuzione costante del contenuto di minerali argillosi, per questo nelle tonalità bianco-grigio si assiste ad alti livelli di calcite.

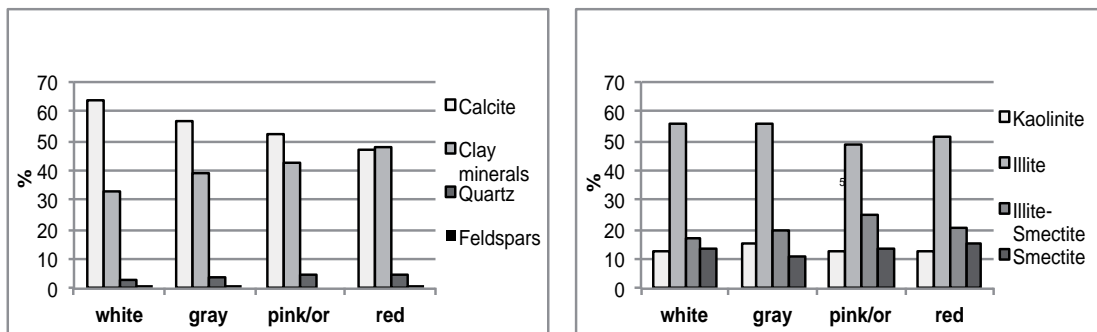


Fig.8.18 - In questi grafici si osservano le composizioni mineralogiche dei mattoni crudi con colorazione distinta. (Immagine da Quarta, Marchiori e Melica 2014).

Le analisi compiute nei laboratori di Siviglia e Barcellona, a livello di composizione mineralogica delle terre, hanno confermato gli studi precedenti. Le terre impiegate a *Tell Tuqan* sono ricche di calcite e presentano basse percentuali di quarzo, feldspati e miche (Fig.8.19). La comparazione dei diffrattogrammi ottenuti dai reperti che caratterizzano le diverse fasi riconosciute anche in questo caso non mostra grandi differenze negli impasti (Tav.8.16B). È riscontrata di nuovo una

leggera differenza nel campione prelevato nelle strutture del Bronzo Antico, elemento che conformerebbe le ipotesi della prima ricerca preliminare.

Campione	Calcite %	Quarzo %	Feldspato %	Fillosilicato %	Dolomite %
TT21a	44	14	3	39	-
TT21b	36	10	2	48	4
TT21c	70	18	4	-	8
TT31	64	6	1	29	-

Fig.8.19 - In questa tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di *Tell Tuqan*.

Per verificare e approfondire i dati precedenti è stata compiuta un'analisi diffrattometrica sui campioni di mattone, malta e intonaco di un muro dell'Età del Ferro. I risultati differiscono molto nella percentuale di calcite presente e nella malta è possibile determinare una buona percentuale di caolinite assente negli altri due campioni (Tav.8.17). L'identificazione nella diffrattometria generale della caolinite, senza la preparazione specifica per la determinazione delle argille, può indicarci un'alta concentrazione di questo minerale argilloso che era presente nella composizione mineralogica. Anche attraverso l'analisi degli elementi chimici si osserva la percentuale di calce in aumento dal campione di mattone al campione di malta (Fig. 8.20). Il campione TH21a (malta) è composto da una percentuale più alta di silice (SiO₂), di ossido di alluminio (Al₂O₃) e di ossido di ferro (Fe₂O₃) che può confermare il maggiore contenuto nell'impasto di minerali argillosi.

Campione	Somma (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)
TT21a	99,20	27,38	5,57	2,38	0,04	2,00	26,99	0,22	2,16	0,30	0,42	0,13
TT21b	99,65	19,02	4,13	1,75	0,03	1,62	34,51	0,40	2,22	0,23	0,16	0,55
TT21c	99,25	9,97	1,78	0,74	0,02	1,05	45,81	0,19	0,83	0,10	0,06	0,08
TT31	99,18	25,89	4,81	1,89	0,03	2,01	29,82	0,21	1,69	0,23	0,49	0,16

Fig.8.20 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di *Tell Tuqan*.

Il campione TT31, frammento di *adobe* prelevato dal muro del palazzetto persiano è stato analizzato nei laboratori di Siviglia. Dal diffrattogramma della composizione generale si può riscontrare la presenza di calcite e quarzo come elementi maggioritari, con una maggiore concentrazione di calcite (Tav.8.18A). Sono presenti miche e feldspati sotto forma di muscovite e anortite. Anche nell'analisi chimica si può osservare la certa similitudine che c'è tra i risultati provenienti dal campione TT31 di colorazione grigia e la malta TT21a che presentava macroscopicamente sempre una colorazione grigiastra.

Di questo campione è stata eseguita anche la determinazione dei minerali argillosi attraverso la DRX dell'aggregato orientato e della misurazione con glicole etilenico e ad alta temperatura. I minerali sono gli stessi identificati nelle analisi precedenti, con la presenza nuova della palygorskite (Tav.8.18B). Visto la bassa percentuale ottenuta molto probabilmente durante la preparazione dell'aggregato orientato bisognava ripetere l'operazione con tempi più lunghi per una migliore orientazione delle lamelle.

8.5.1 – Studio petrografico

Come citato prima l'impossibilità di raccogliere un nuovo numero di campioni non ha permesso un nuovo studio petrografico sul materiale. Si riportano i dati presentati in precedenza (Quarta, Marchiori e Melica 2014), sperando che un giorno sia possibile eseguire un nuovo campionamento esaustivo che permetta una verifica dei dati.

Anche in questo caso lo studio petrografico è stato compiuto dal laboratorio petrografico del CNR-IBAM. La microscopia ottica (OM) è stata eseguita su sezioni sottili con luce polarizzata trasmessa (Nikon microscopio mod. Eclipse LV100 POL) che ha permesso di definire la composizione mineralogica-petrografica dei campioni (Uni-Normal 15/84). Lo studio petrografico ha permesso di stabilire che la calcite e i

minerali argillosi costituiscono la massa di fondo dei mattoni, in alcuni campioni sono ben miscelati, mentre in altri sono visibili grumi di argilla (Fig.8.21).

La calcite è il principale costituente dell'aggregato, ed è presente come clasti di carbonato appartenenti a rocce sedimentarie, principalmente caratterizzate da trama sparitico o micro-sparitico, o come carbonati fossili. Il quarzo e i feldspati rappresentano i minerali accessori, il primo appare come cristalli singoli o come frammenti di quarzo policristallino, talvolta appaiono associati a miche. Sono presenti anche alcuni minerali accessori, quali: selce, calcedonio, pirosseni e anfiboli.

Questi minerali sono stati trovati in tutti i campioni analizzati e quindi non sono elementi distintivi di mattoni fabbricati in un determinato periodo (Quarta, Marchiori e Melica 2014).

La stessa composizione mineralogica-petrografica è stata definita anche per i campioni di malta e per le terre prime di riferimento, che mostrano anche simile rapporto quantitativo tra i vari minerali identificati (Tav.8.19).

Sigla	Massa di fondo	Tipo di inclusi	Granulom.inclusi (µm)	Tipo di vuoti	Colore Munsell	Note
TT16 Bronzo Antico III	calcareo con rari agglomerati di argilla	cc-spa, cc-mspa, qtz-m, sh., feld, cc-m, qtz-p, ch, pxo anf, ol, glc o ofiol, veg	40-100 (30-1300)	Pori, microcavità	5YR 6/4	
TT17 Bronzo Antico III	calcareo con quantità media di argilla	qtz-m, cc-spa, cc-m, qtz-p, feld, carb	40-80 (30-1750)	Pori, microfessure da ritrazione	7.5YR 6/6	cc-m grani spesso > 650 µm arrotondati
TT19 Bronzo Medio II	calcareo-argillosa	qtz-m, qtz-p, cc-spa, cc-mspa, cc-m, sh., carb, sel, cha, ophiol, vul? anf, feld	125-250 (30-4000)	microcavità	7.5YR 7/4	
TT21 Ferrol III (Intonaco)	calcareo con rari agglomerati di argilla	cc-spa, cc-mspa, qtz-m, feld, cha.	40-100 (30-1200)	Microcavità, microfessure da ritrazione	10YR 8/2	cc-m 1000-1200 µm arrotondati
TT21 Ferrol III (mattone)	calcareo-argillosa con grumi	cc-spa, cc-mspa, cc-m, qtz-m, sh., feld, ch, cha, vulc ?, carb	30-950 (40-1000)	microcavità	7.5YR 7/4	cc 500-900 µm arrotondati
TT21 Ferrol III (Malta)	calcareo	cc-spa, cc-mspa, qtz-m, cc-m, qtz-p, feld, she, veg, carb	60-160 (30-1800)		10YR 7/1	Tufo calcareo, cemento spatico
TT22 Ferrol III (Intonaco)	calcareo	cc-spa, cc-mspa, qtz-m, cha., feld	30-60 (30-400)	microfessure da ritrazione	7.5YR 8/2	
TT22 Ferrol III (mattone)	calcareo con buona quantità di piccoli agglomerati di argilla	cc-spa, cc-m, qtz-m, feld, cha., veg, carb	60-150 (40-1000)		7.5YR 7/3	Calcareo foraminifero
TT24 Ferro III	calcareo con rari agglomerati di argilla	cc-spa, cc-m, qtz-m, cha., carb	80-200 (30-550)	Pori, microfessure da ritrazione	10YR 8/2	Tufo calcareo foraminifero
TT26 Persiano	calcareo con rari agglomerati di argilla	cc-m, cc-spa, qtz-m, feld, sel, cha., carb, vulc ?	70-300 (40-600)	microcavità, microfessure da ritrazione	10YR 7/2	presenza di alcuni grossi cristalli di feldspati di origine vulcanica intrusiva
TTD Terra	calcareo	cc-spa, sh., qtz-m, qtz-p, feld,	40-880	Pori intergranulari,	10YR	

		sel, carb	(20-1000)	rare microfessure	7/1	
TTE Terra	Calcareo-argillosa	cc-spa, cc-mspa, qtz-p, cc-m, sel, feld, carb	60-200 (30-850)	micro cavità, micro fessure	10R 5/6	Formazione di nuovi sali cristallizzati

aaaa= componenti principali, aaaa= componenti secondari, aaaa= componenti in traccia

cc-m =	calcare micritico	qtz-m =	quarzo monocrist.	carb =	carbone	anf =	anfibioli	Fe-ox=	ossidi di ferro
cc-spa =	calcare sparitico	qtz-p =	quarzo policrist.	vulc =	rocce effusive	ol =	olivina	os =	frammenti di ossa
cc-mspa =	calcare microsparitico	feld =	feldspati	intr =	rocce intrusive	ofiol =	ofioliti		
sel =	selce	calced =	calcedonio			msv =	muscovite		

Fig. 8.21 – Tabella della lettura petrografica delle sezioni sottili dell'insediamento di *Tell Tuqan*.

8.5.2 – Conclusioni

I dati ottenuti hanno permesso di stabilire che i mattoni hanno una bassa variabilità della composizione mineralogica e petrografica. All'interno di ogni momento di espansione del sito e all'interno di diverse epoche storiche, le terre impiegate per la produzione dei mattoni sono in accordo con l'approvvigionamento locale di materie prime. La calcite e i minerali argillosi sono i principali costituenti della matrice dei mattoni. In alcuni casi gli impasti è possibile osservare i grumi di argilla, ma in maggioranza i due elementi risultano ben miscelati. La calcite è il costituente principale dell'aggregato, in media oltre il 60%, mentre il contenuto di argilla è più o meno il 40% (Quarta, Marchiori e Melica 2014).

I minerali secondari sono quarzi e feldspati con presenza in tracce di selce, calcedonio, pirosseni e / o anfibioli. Questi elementi presenti in quasi tutti i campioni analizzati, non sono caratteristiche distintive di mattoni fabbricati, a differenza della presenza costante di paglia in buona percentuale. Come riportato nei capitoli precedenti, l'aggiunta intenzionale di paglia nell'impasto dei mattoni serve come smagrante evitando così possibili fessurazioni durante l'essiccamento. Visto l'alta percentuale di minerali argillosi nelle terre locale è fondamentale l'utilizzo di alte percentuali di paglia per la fabbricazione dei mattoni. I minerali argillosi presenti appartengono principalmente al gruppo illite e in secondo luogo palygorskite, caolinite e smectite.

Anche per i campioni analizzati per la malta di allettamento, gli intonaci e le terre prime di confronto mostrano la stessa composizione. Come dimostrano le analisi tra i mattoni, la malta e gli intonaci appare una piccola differenza nella percentuale di calcite presente che indicherebbe soprattutto per gli intonaci un'aggiunta volontaria di calce. Il dato sulla presenza di caolinite nella malta sarebbe da verificare ulteriormente, visto l'unico prelievo studiato, ma se fosse ricorrente, potrebbe indicare una voluta lavorazione delle terre.

L'alta percentuale di calcite è una caratteristica principale non solo dei mattoni crudi impiegati nella costruzione ma anche dei suoli grezzi in prossimità del *tell*.

Per quanto riguarda le caratteristiche cromatiche dei mattoni crudi, è stata trovata una relazione tra i colori e la composizione mineralogica dei suoli. Inoltre, è stata trovata una correlazione notevole tra colore (bianco, grigio, rosso, arancione o rosa) e il tipo di minerali argillosi. Nel caso di mattoni di colore bianco o grigio si sono osservate percentuali maggiori di calcite rispetto agli altri.

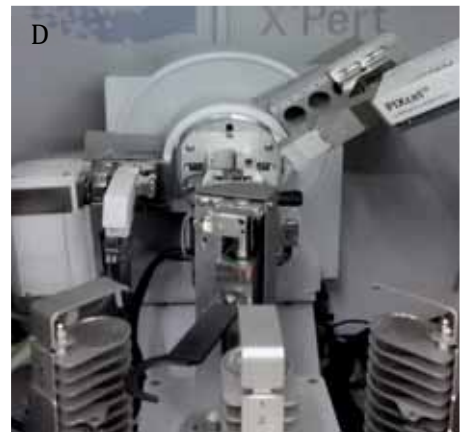
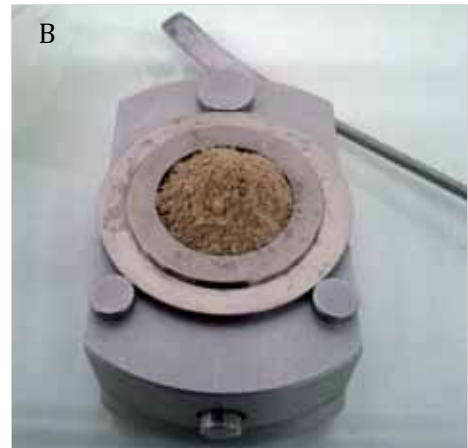


Tavola 8.1 – A) Polverizzazione campione tramite mortaio in agata; B) Montaggio della polvere nel porta campione; C) Campioni montati su maschera grande (15); D) Diffratometro X'Pert Philips; E) Reazione di effervescenza causata dallo scioglimento dei carbonati; F) Ultimo passaggio prima della raccolta tramite pipetta della sospensione argillosa.

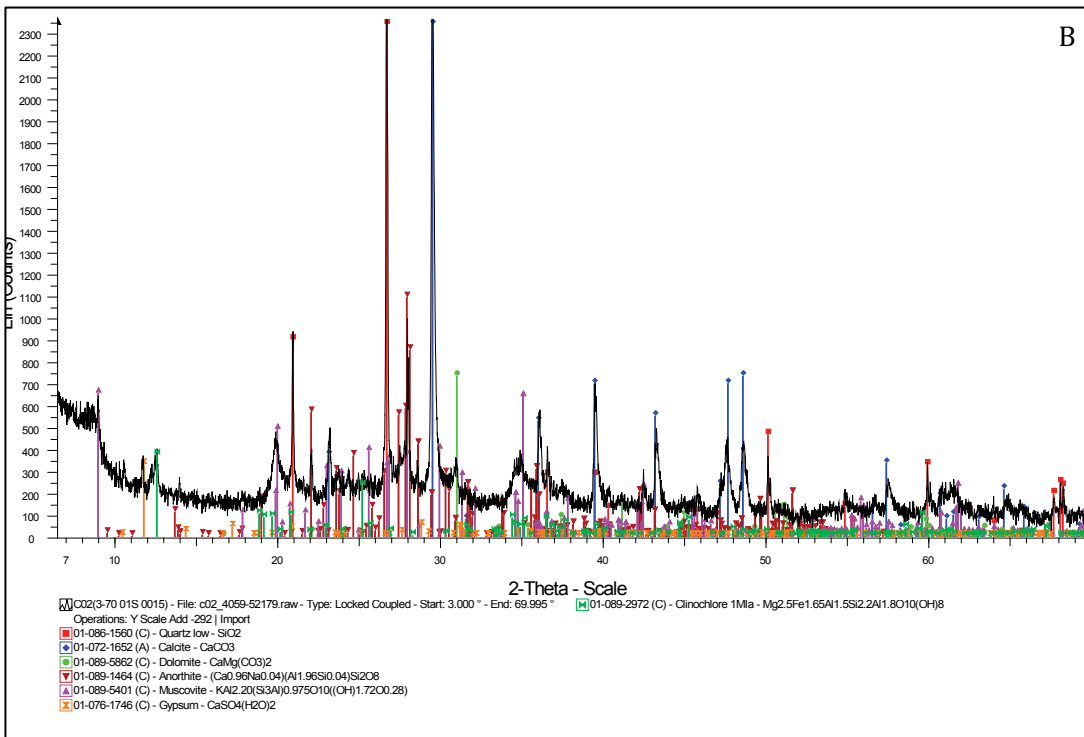
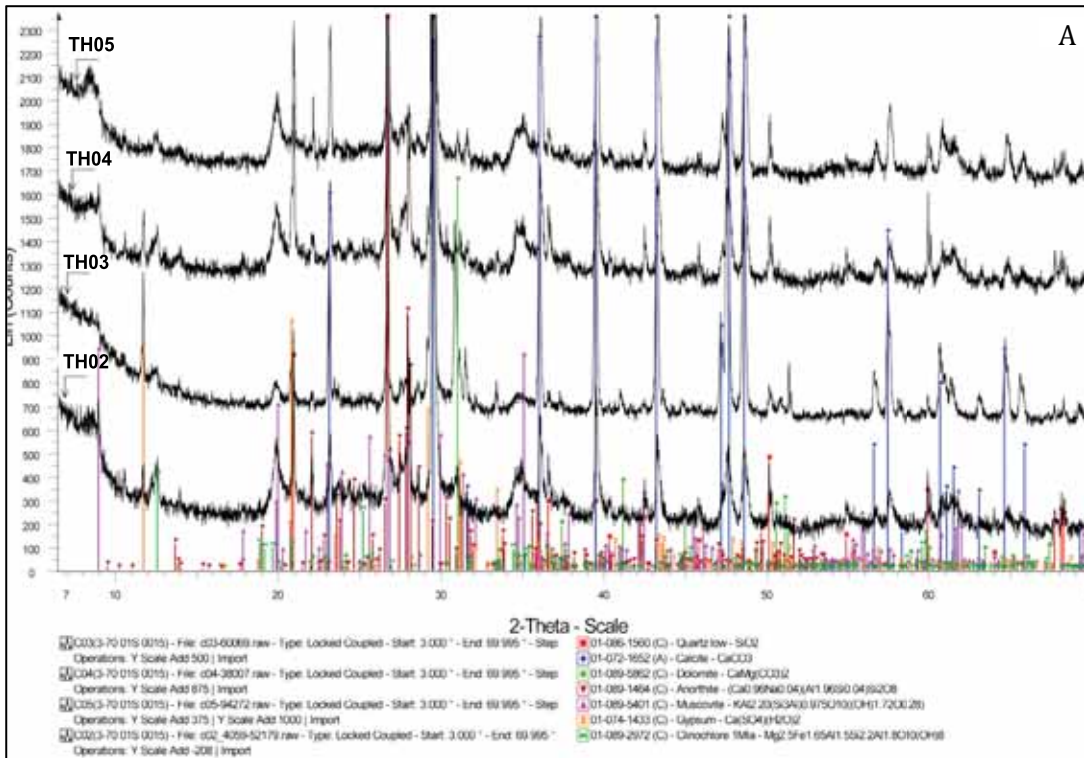


Tavola 8.2 - A) Comparazione dei diffrattogrammi dei mattoni delle diverse strutture indagate a *Tell Halula*; B) Diffrattogramma campione TH02.

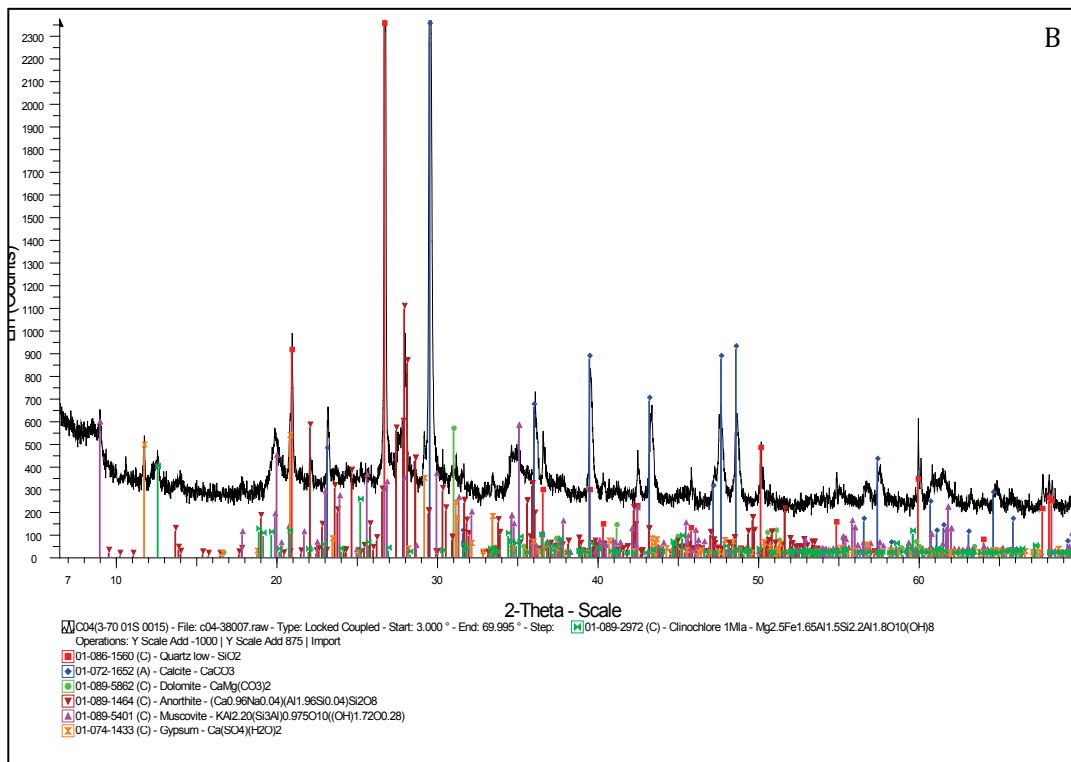
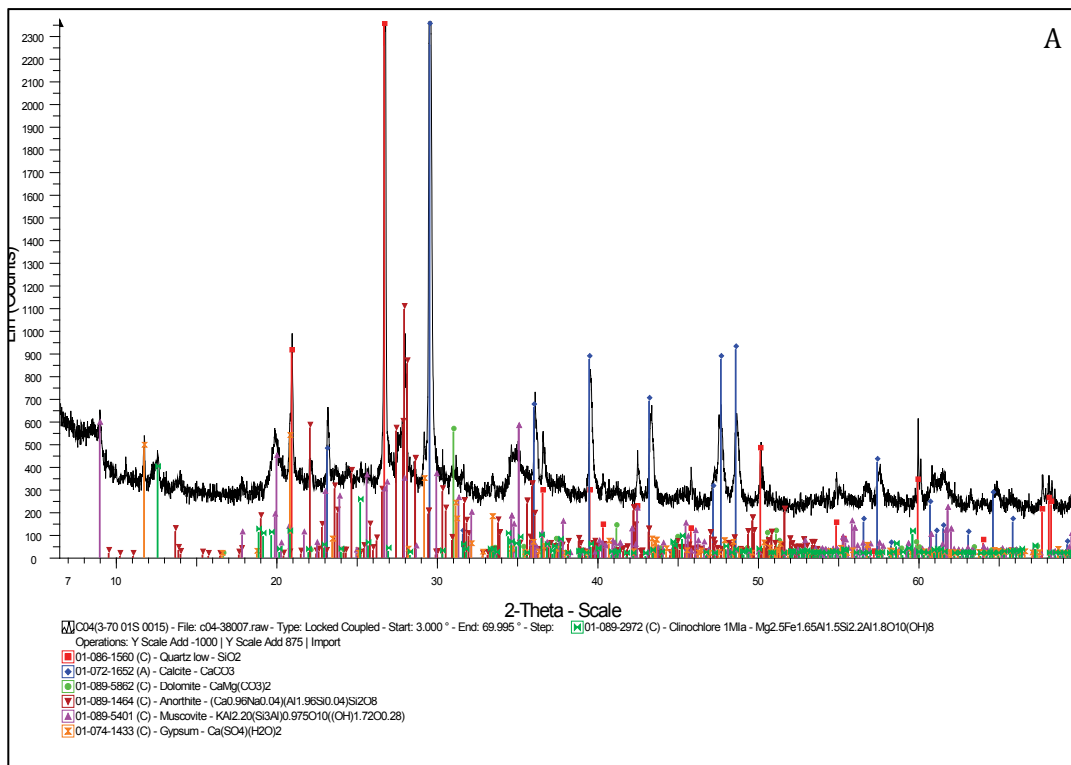


Tavola 8.3 – A) Diffattogramma TH03; B) Diffattogramma TH04.

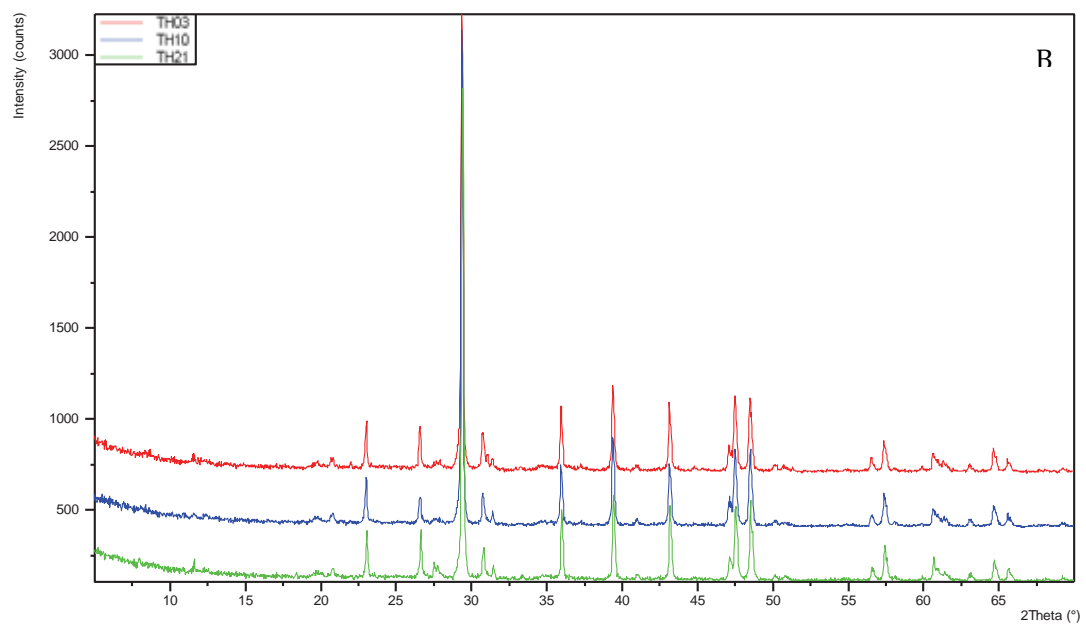
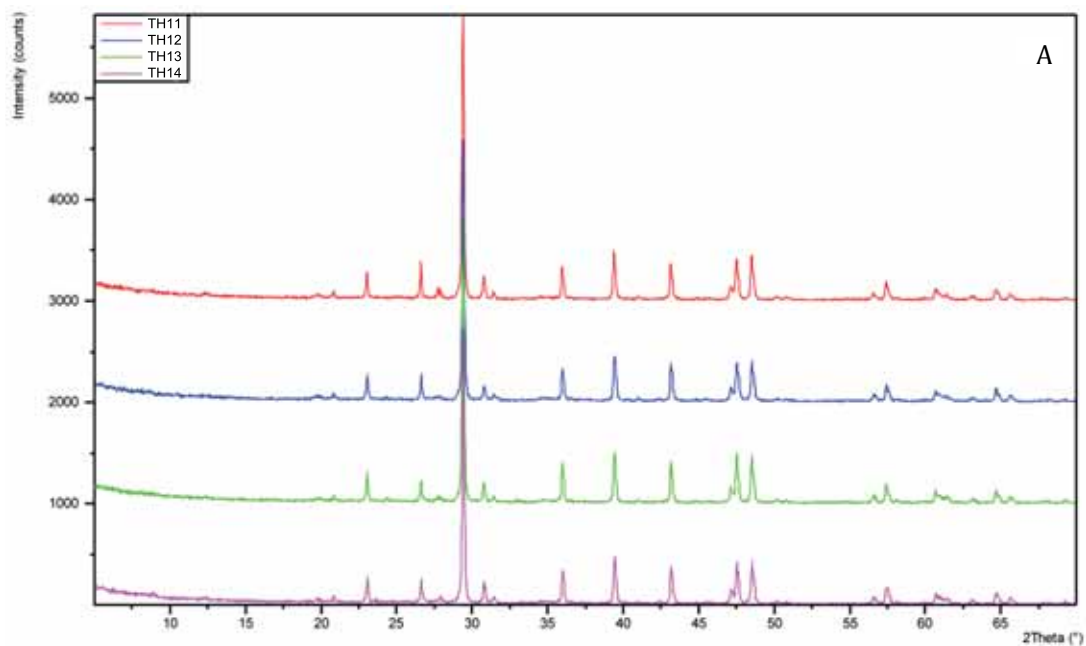


Tavola 8.4 – A) Comparazione diffrattogrammi dei campioni d’intonaco; B) Comparazione diffrattogrammi dei prelievi di mattone di colore bianco.

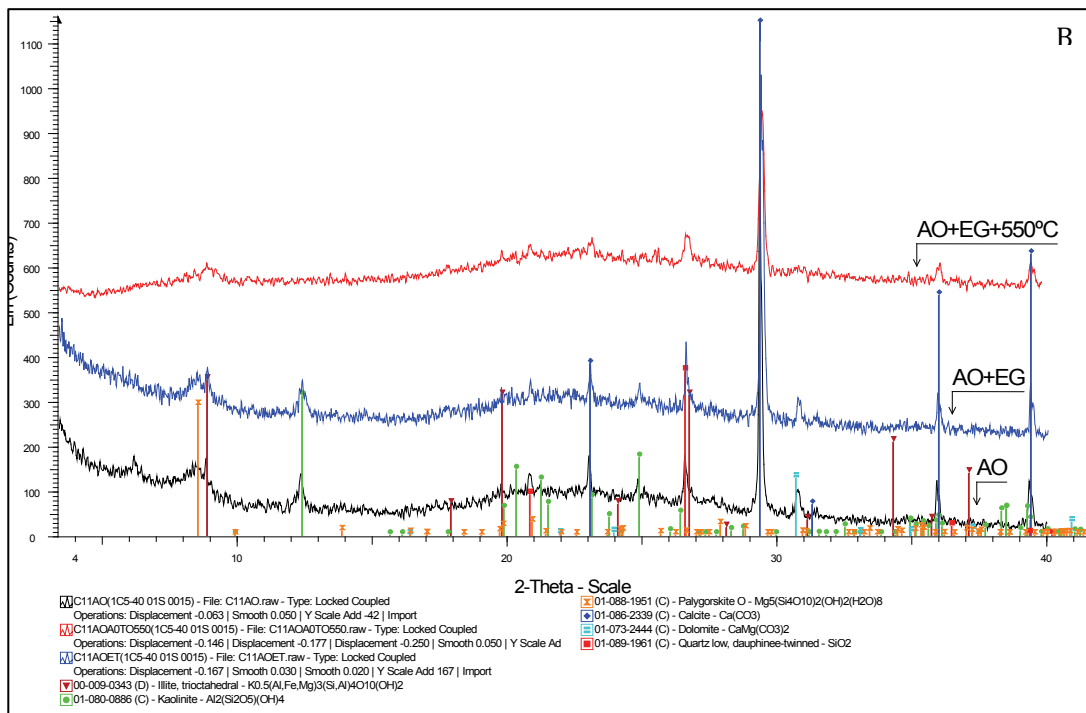
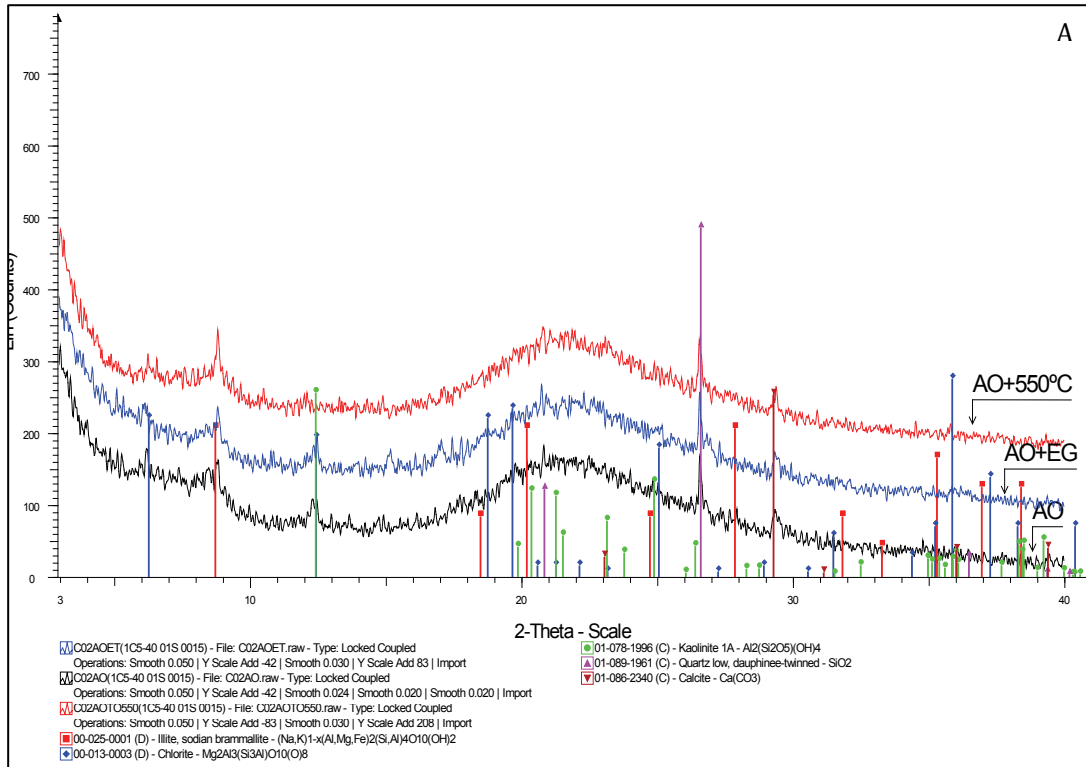


Tavola 8.5- A) Diffratogramma AO di TH02; B) Diffratogramma AO di TH11. (AO=Aggregato Orientato; EG= Glicole Etilenico)

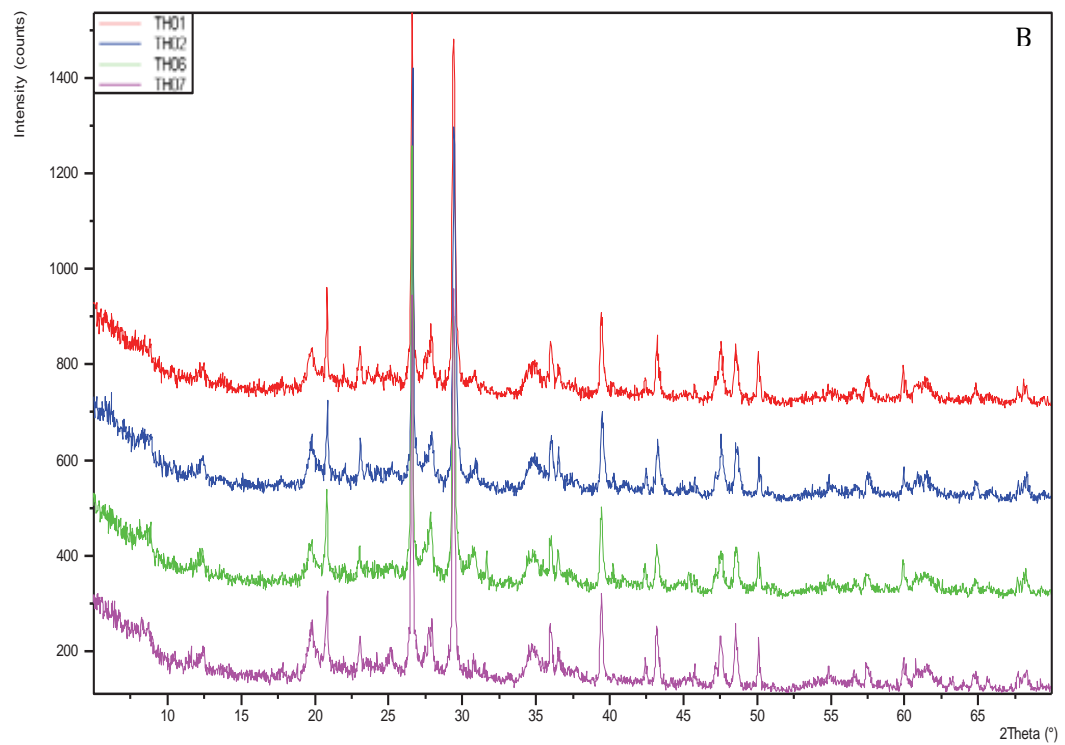
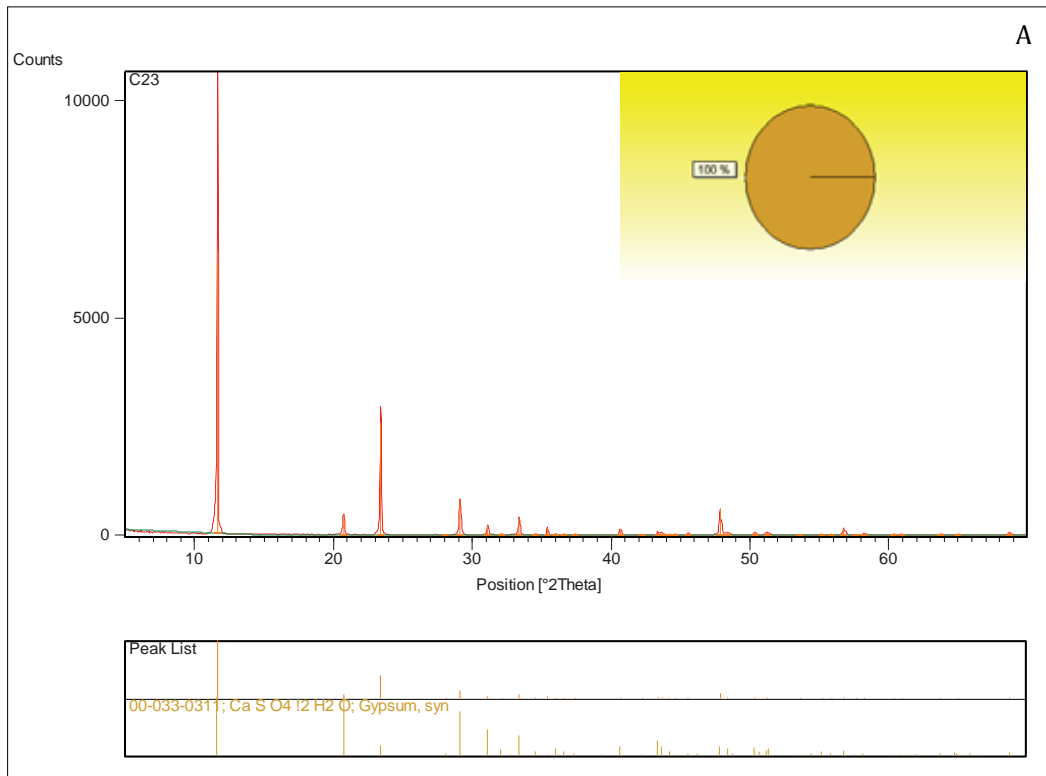


Tavola 8.6 – A) Diffattogramma TH23; B) Comparazione dei diffattogrammi dei vari prelievi di mattone crudo raccolti nel sito.

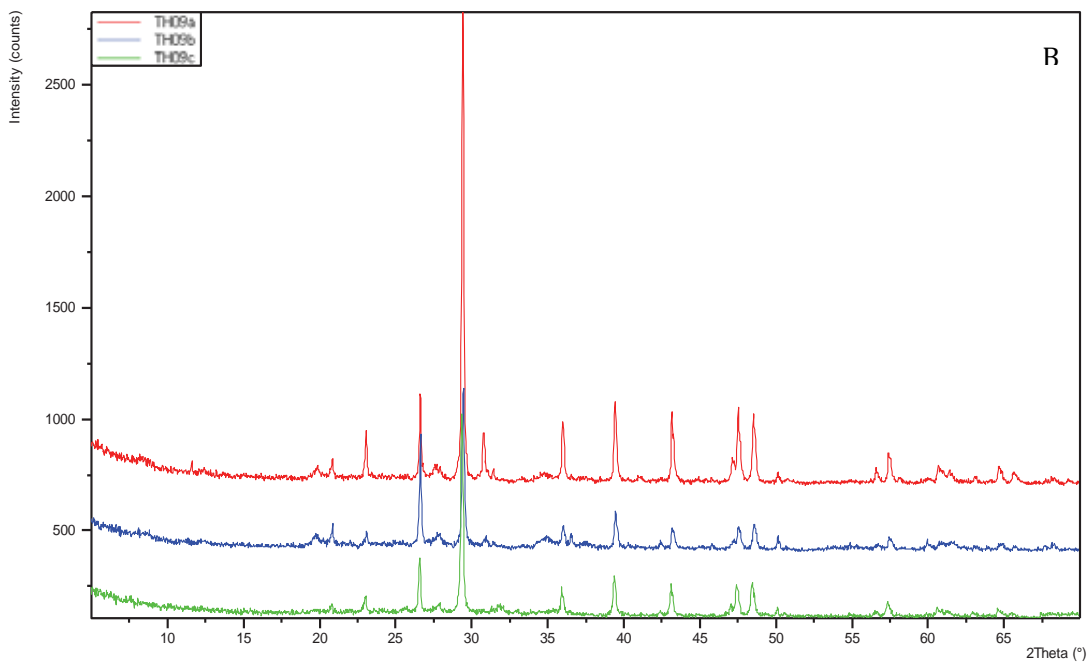
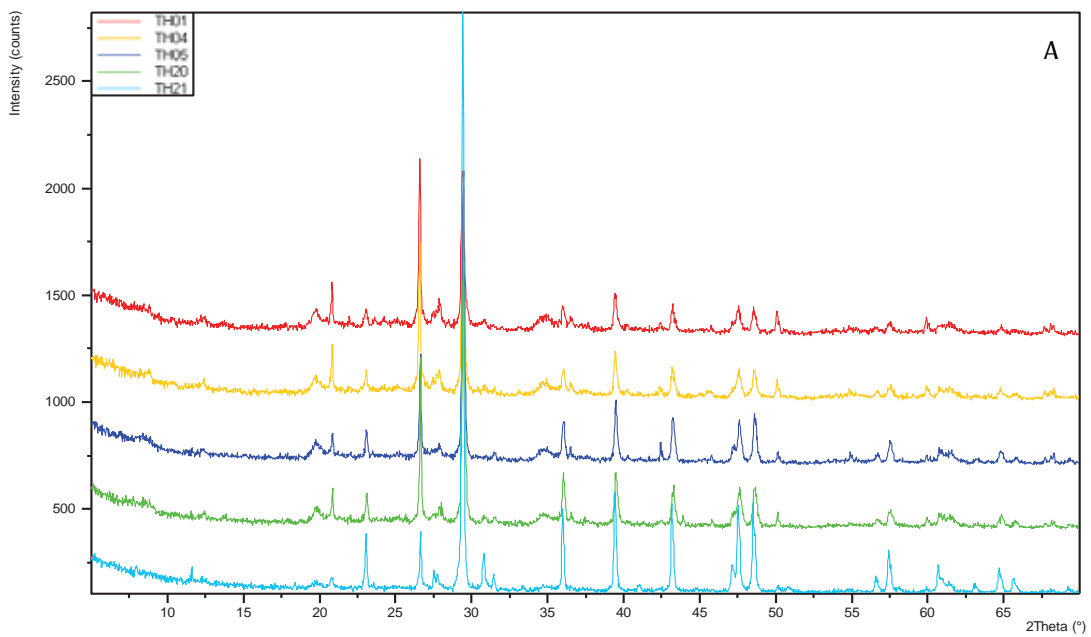


Tavola 8.7 – A) Comparazione dei diffrattogrammi ottenuti dalla analisi dei vari elementi architettonici raccolti sul sito; B) Comparazione dei diffrattogrammi degli strati che compongono la struttura “hornacina”(TH09a,b,c).

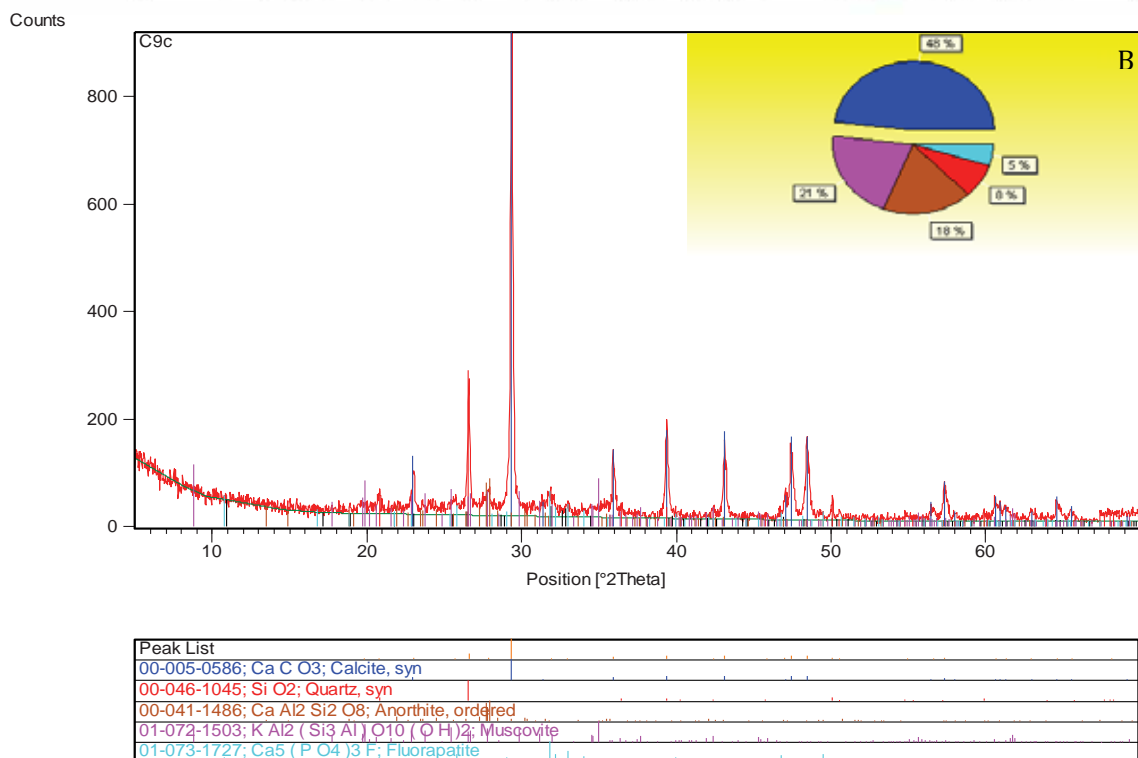
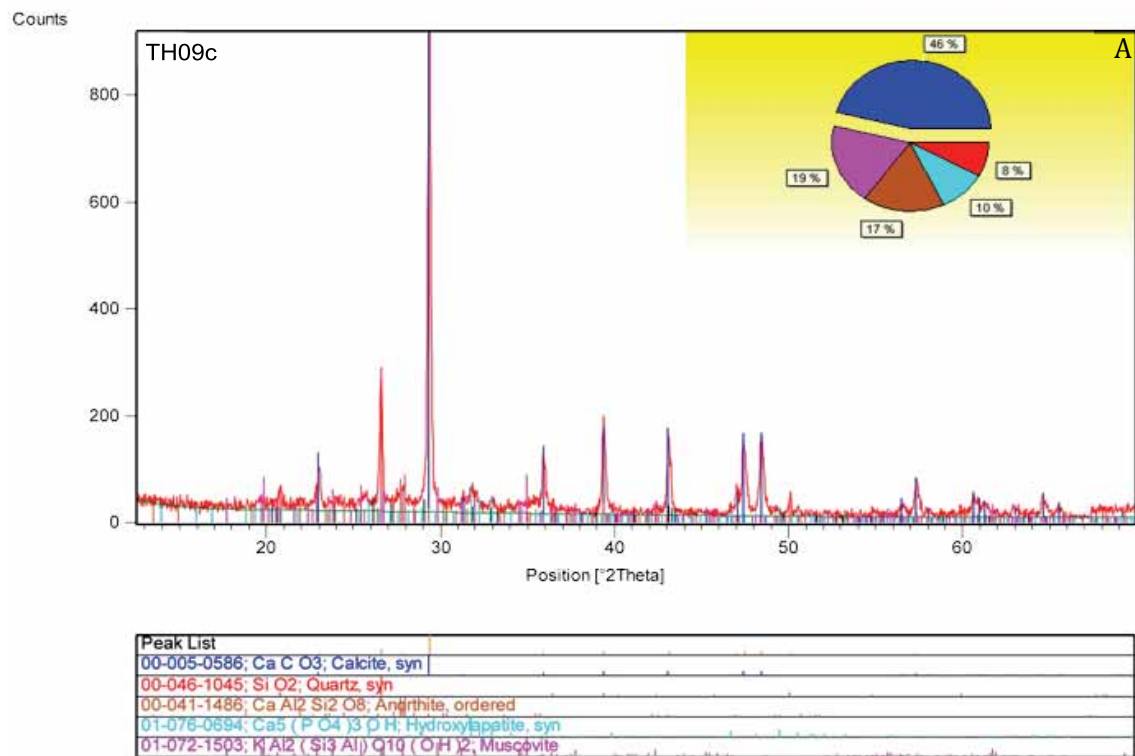


Tavola 8.8 – A) Diffattogramma con presenza di hydroxylapatite; B) diffattogramma con presenza di fluoruroapatite.

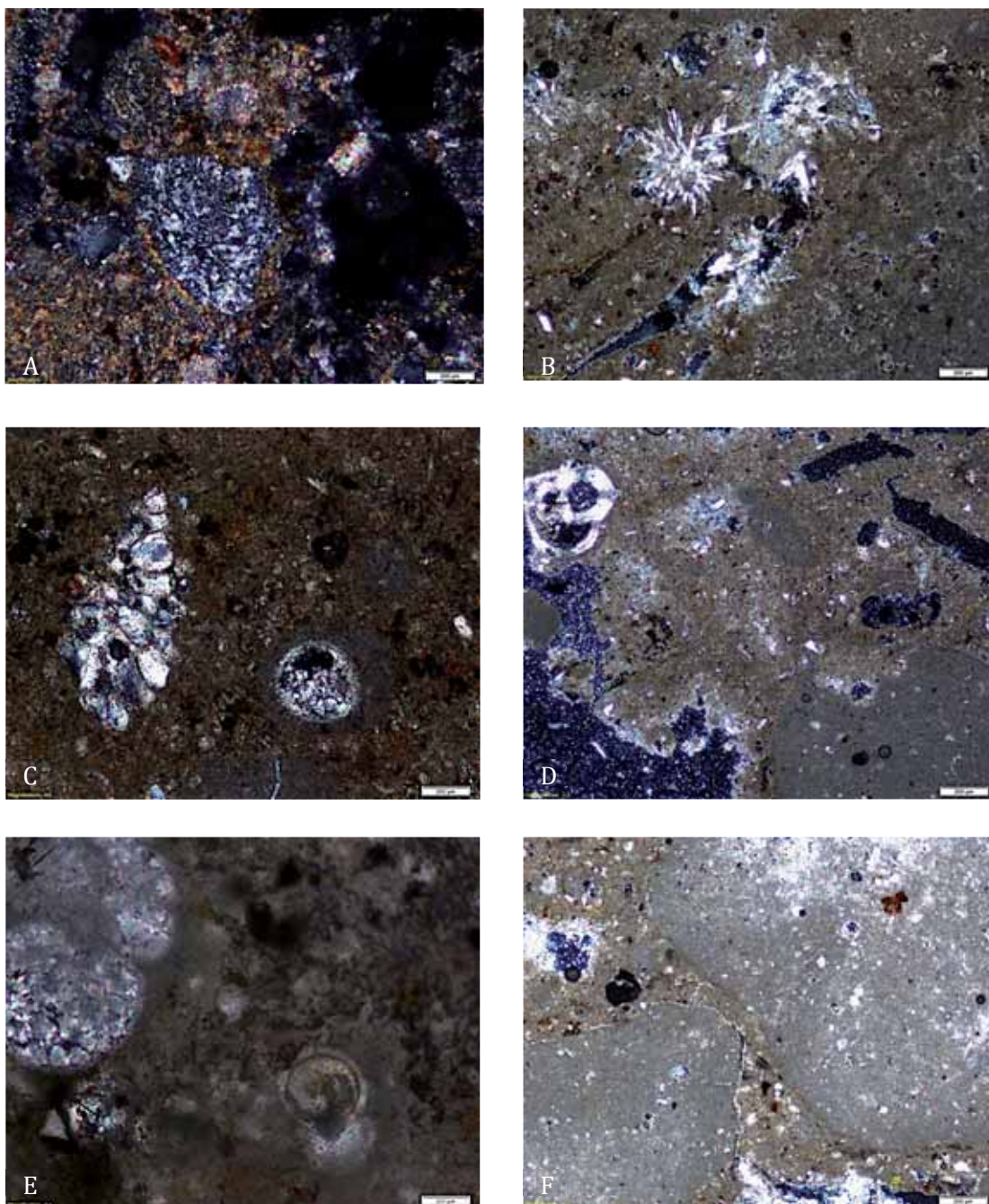


Tavola 8.9 – Sezioni sottili in Scala 200µm. A) Immagine di un frammento di selce in TH04; B) Cristalli di gesso in posizione secondaria in TH03; C) Particolare di calcareniti in TH09; D) Fossile nel campione d’intonaco TH14; E) Fossile non identificabile nel campione di mattone bianco TH10; F) Particolare di carbonati e argilla in TH03.

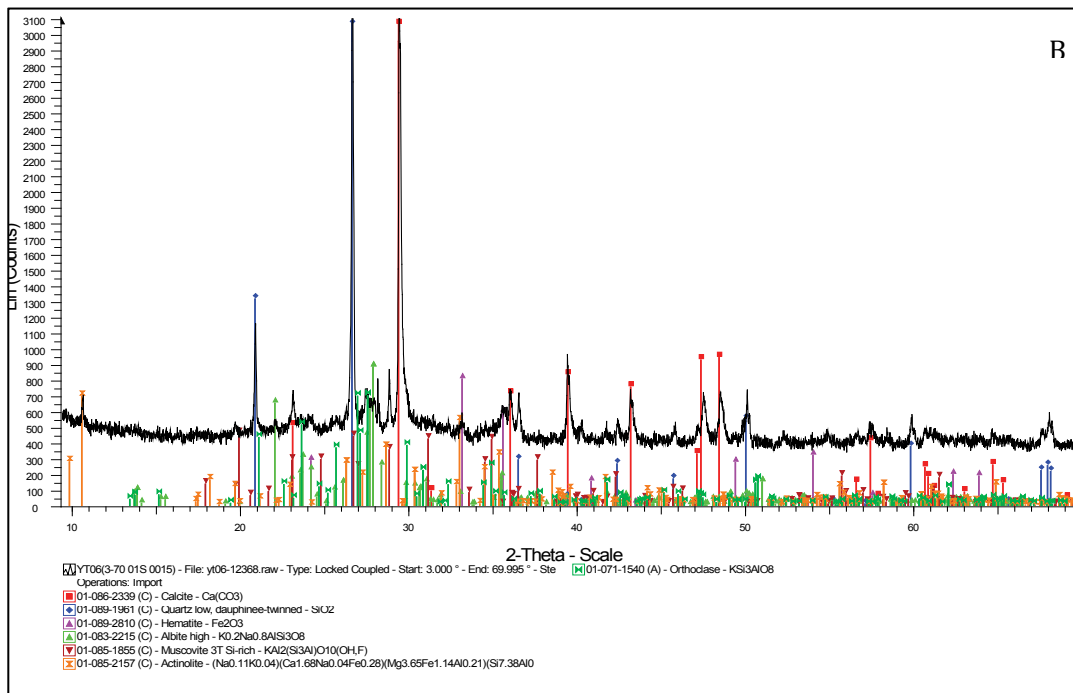
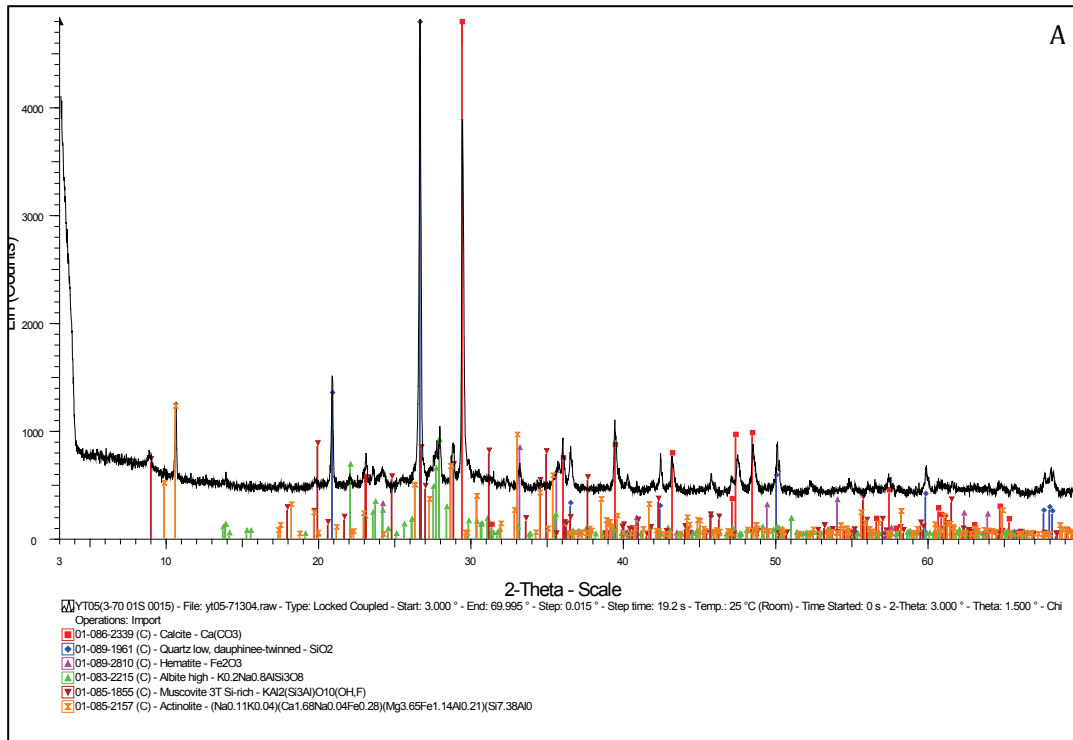


Tavola 8.10 – A) Diffattogramma di YT03; B) Diffattogramma di YT11.

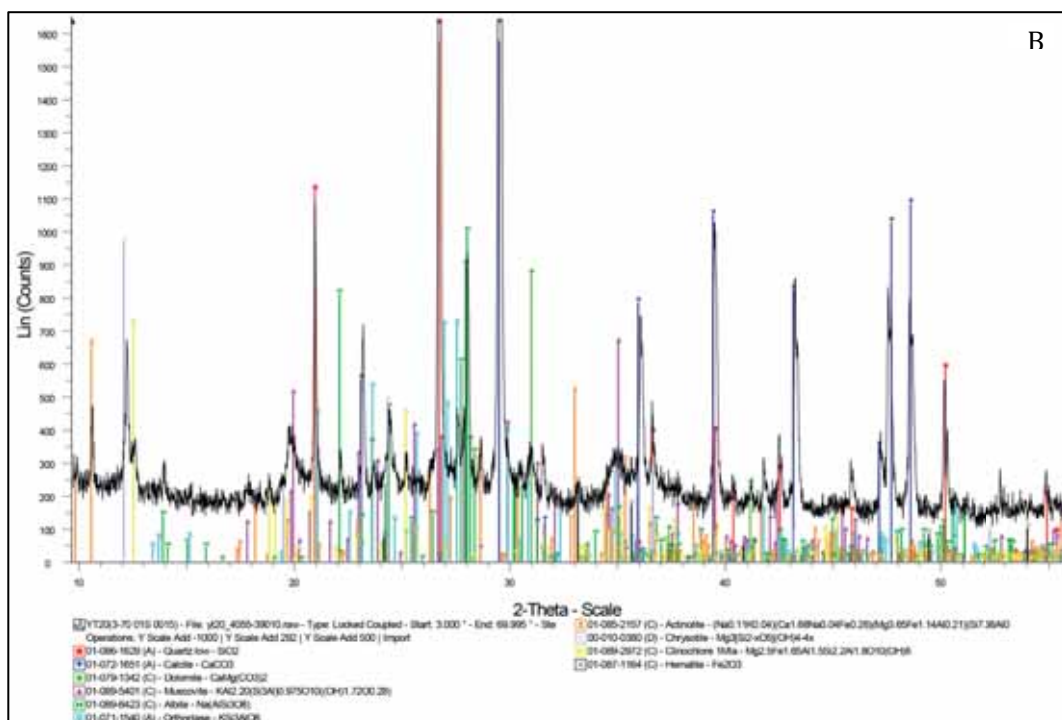
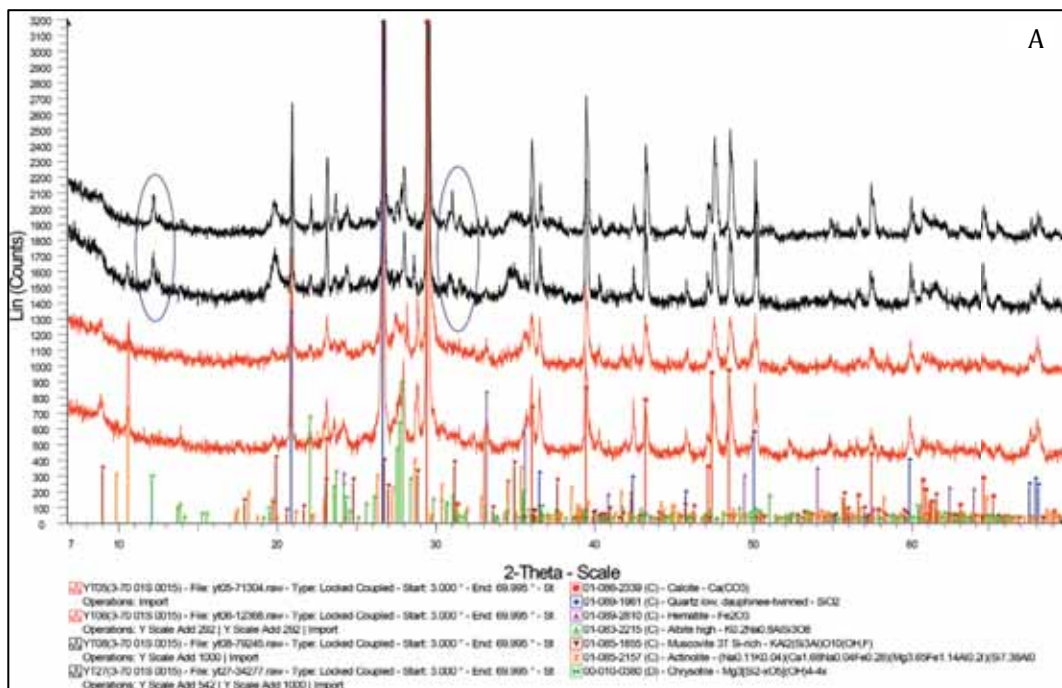


Tavola 8.11 –A) Grafico diffrattometrico dei prelievi di mattone calcareo e ittita (in nero) comparati con i risultati dei prelievi semibrucciati (in rosso) dei campioni dello stesso periodo; B) Diffattogramma di YT01.

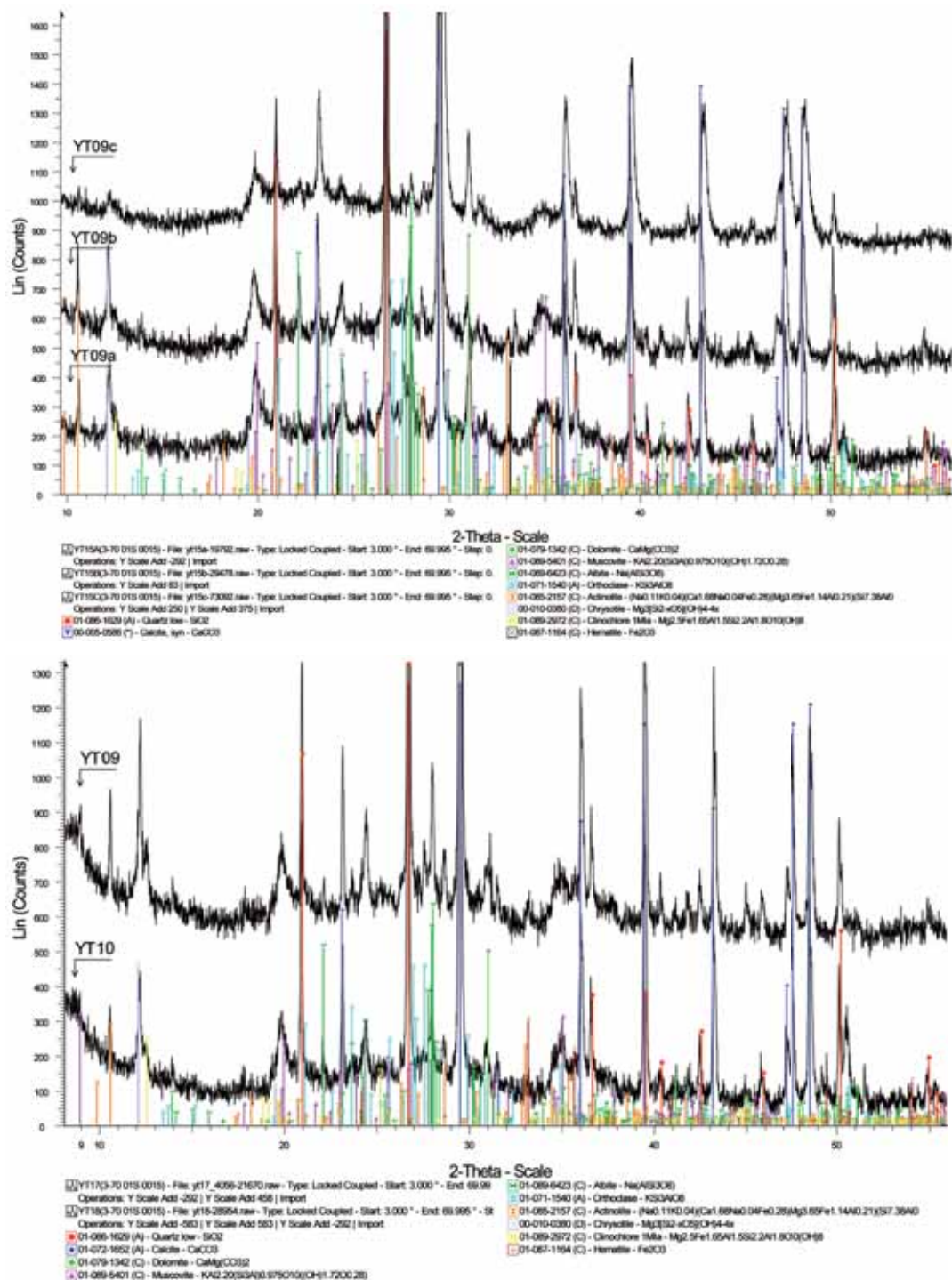


Tavola 8.12 – A) Grafico diffrattometrico dove si possono osservare assieme i diffrattogrammi dei tre livelli che compongono il livello pavimentale calcolitico; B) Grafico diffrattometrico dove sono comparati i risultati della malta (YT10) e del prelievo di mattone crudo (YT09) della fondazione di fortificazione del bronzo.

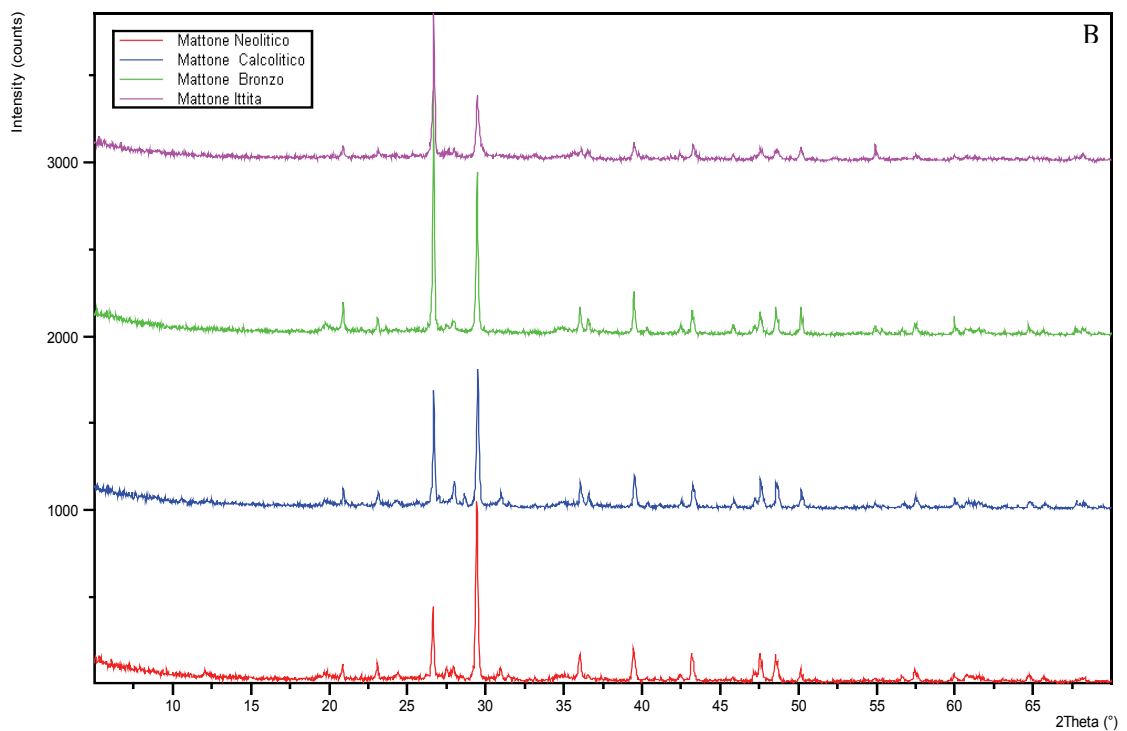
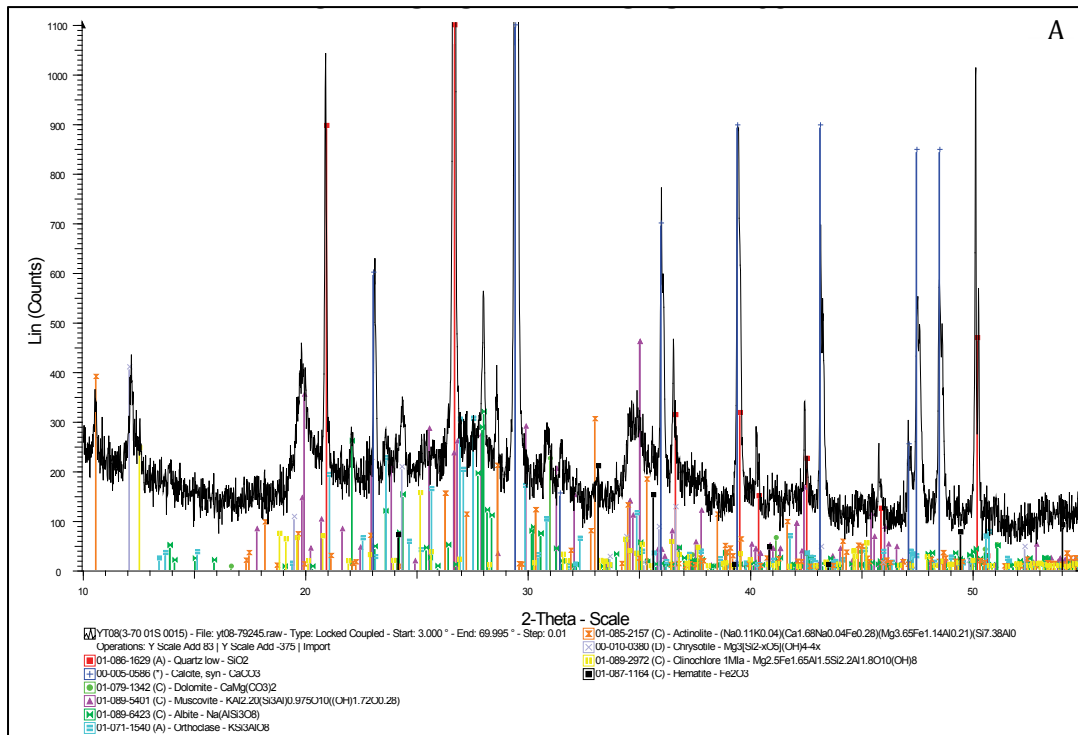


Tavola 8.13 – A) Diffattogramma YT12; B) Grafico di comparazione dei diffattogrammi dei campioni di mattone crudo, di cronologia differente, raccolti sul sito di *Yumuktepe*.

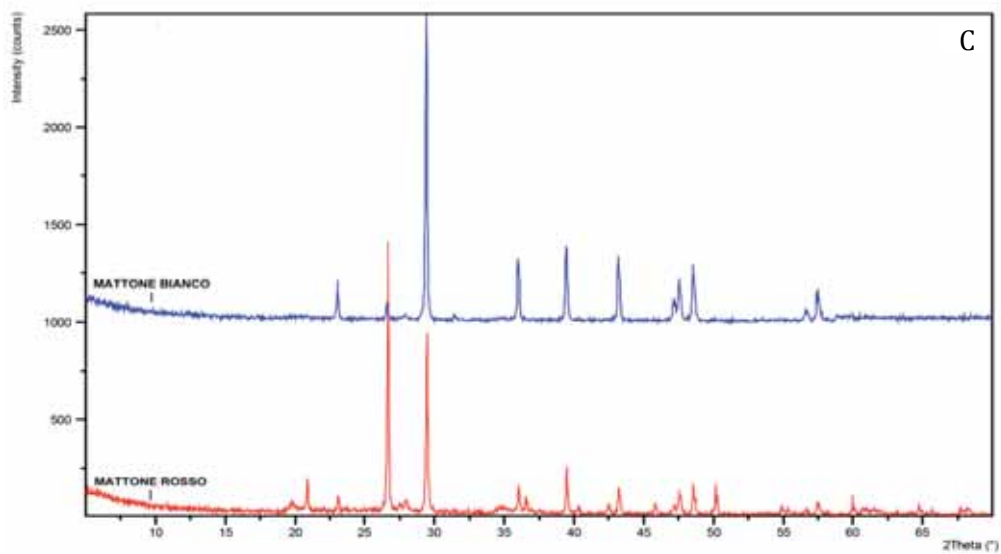


Tavola 8.14 – A-B) In queste foto sono visibili i mattoni calcolitici con colorazione distinta (Scala 1cm). A sinistra i campioni a confronto e a destra le terre analizzate tramite diffrazione raggi X; C) Grafico di comparazione dei diffrattogrammi dei campioni di mattone crudo calcolitico di colore distinto; D-E) In queste due foto si osservano, a sinistra una foto macro del campione di mattone rosso, e a destra una foto macro del campione di mattone bianco.

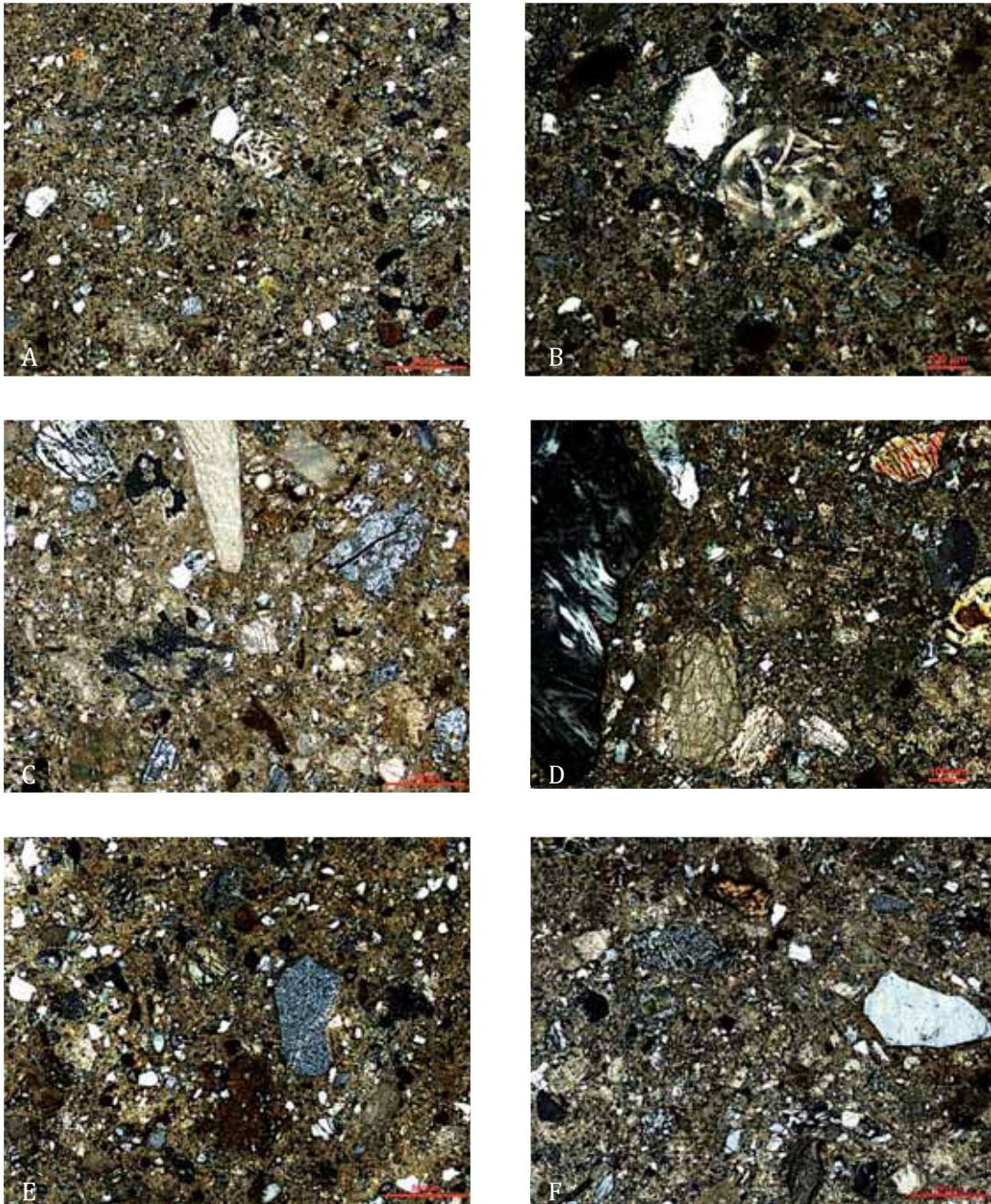


Tavola 8.15 – Sezioni sottili in Scala 500µm. A) Sezione sottile generale del mattone neolitico (YT01); B) Particolare di YT01; Sezione sottile generale del calcolitico (YT08); C) Particolare di osso bruciato di YT08; D) Sezione sottile generale del mattone del bronzo (YT10); Sezione sottile generale del mattone ittita (YT12).

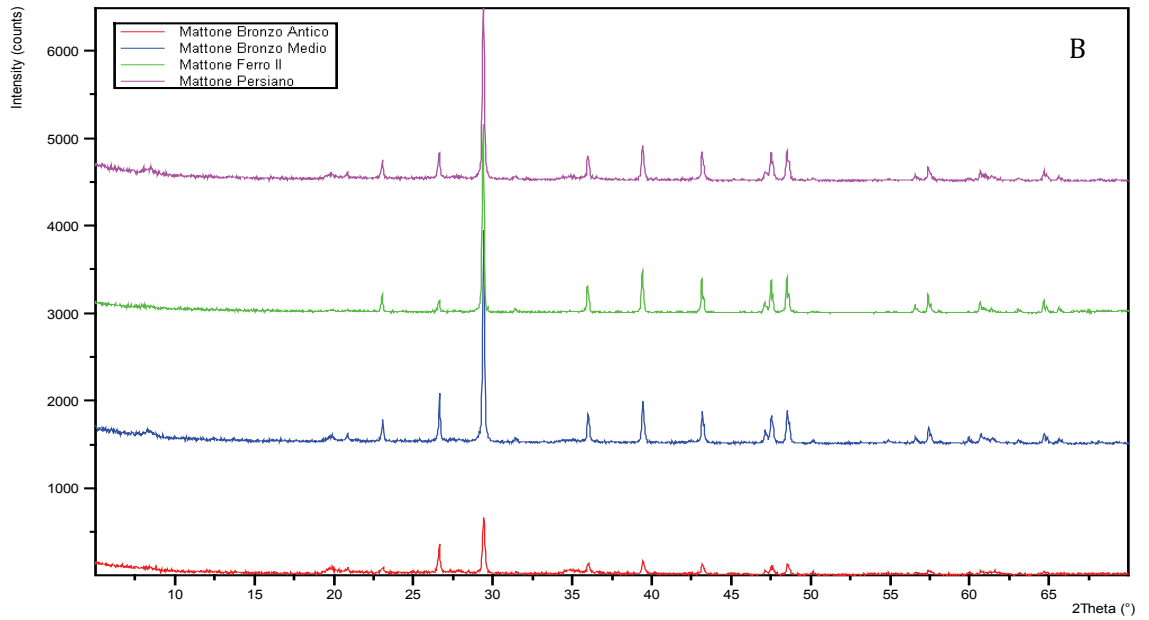
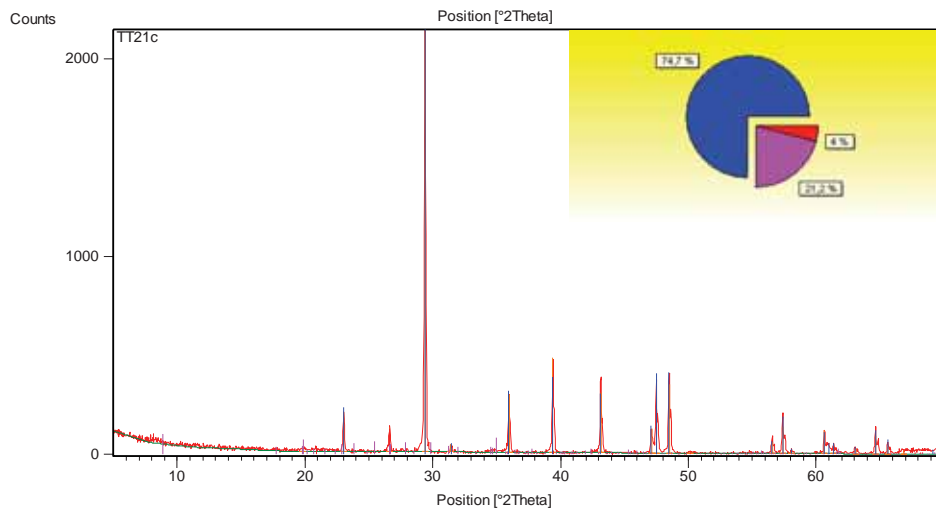
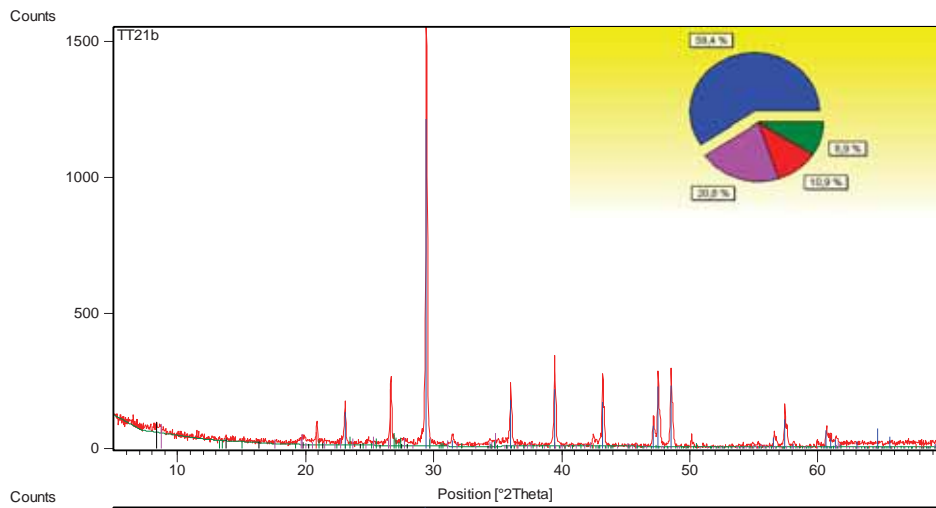
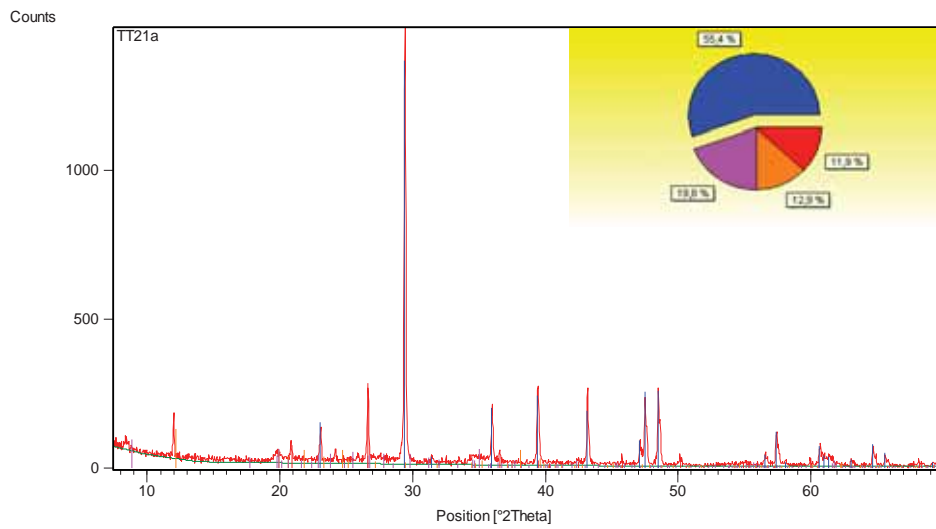
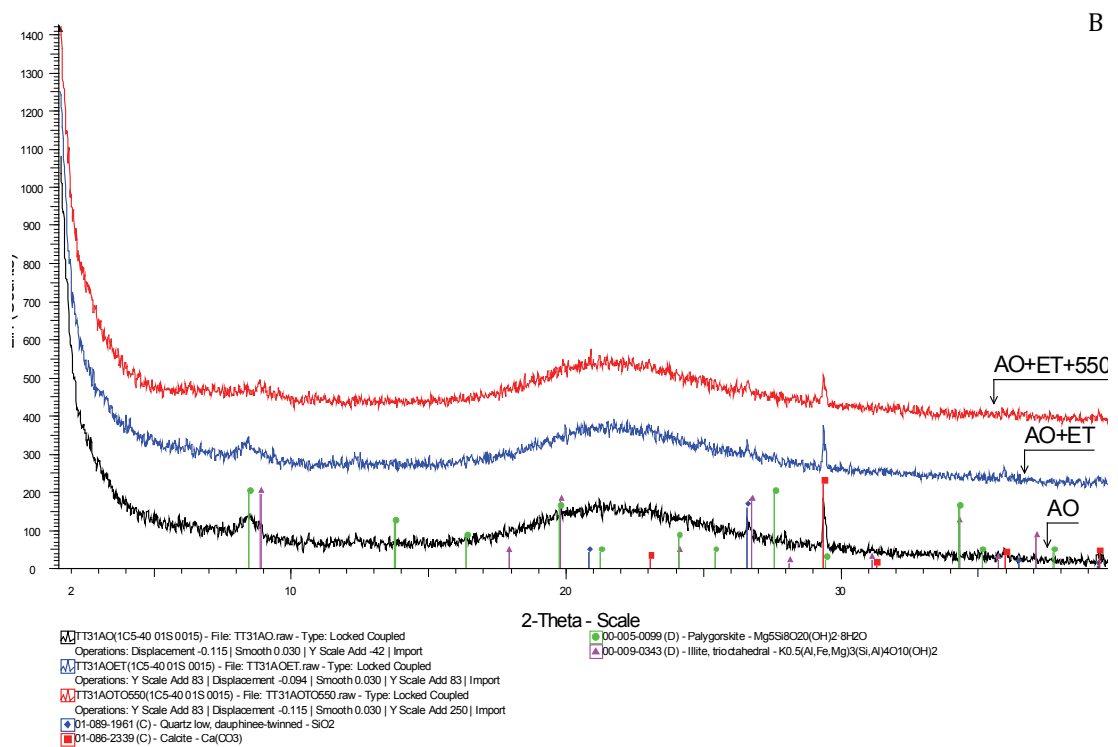
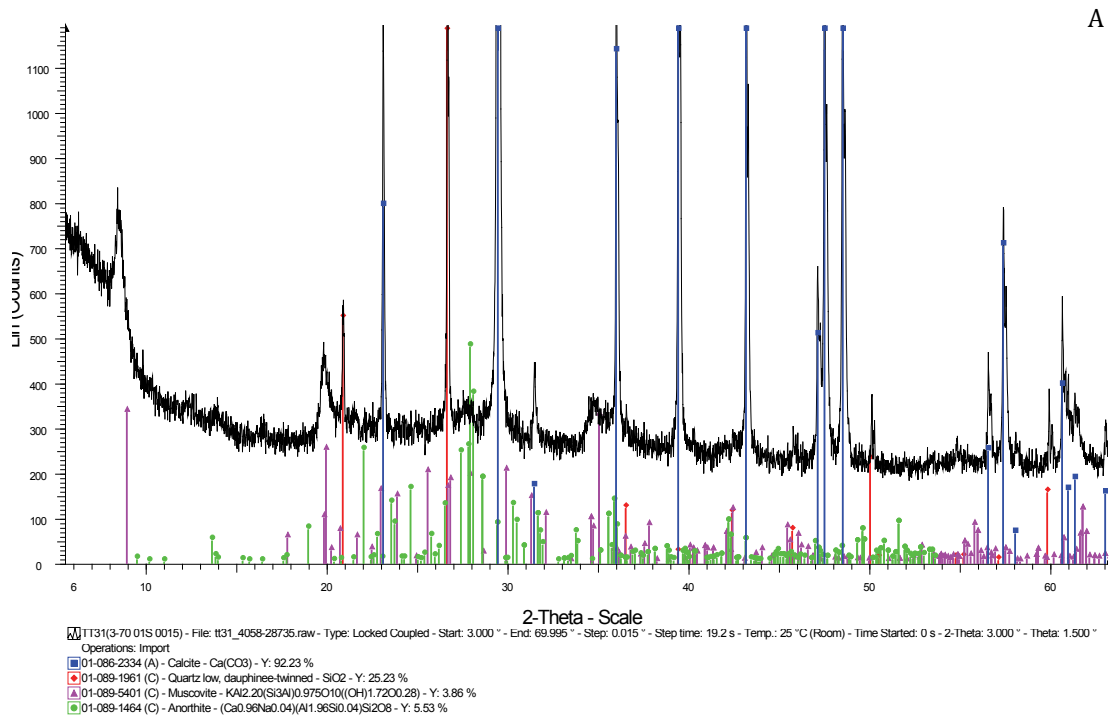


Tavola 8.16 – A) Strumentazione laboratorio del Centro CNR-IBAM (Istituto Beni Culturali Monumentali); B) Comparazione dei diffrattogrammi delle analisi nuove eseguite sui mattoni crudi di *Tell Tuqan*.



Calcite Quarzo Muscovite Caolinite Ortoclasio
■ ■ ■ ■ ■

Tavola 8.17 - Comparazione dei diffrattogrammi con torta della stima semi quantitativa dei campioni di malta (TT21a), mattone (TT21b) e intonaco (TT21c).



Tav. 8.18 – A) Diffattogramma della composizione generale di TT31; B) Diffattogramma dell'aggregato orientato del campione TT31.

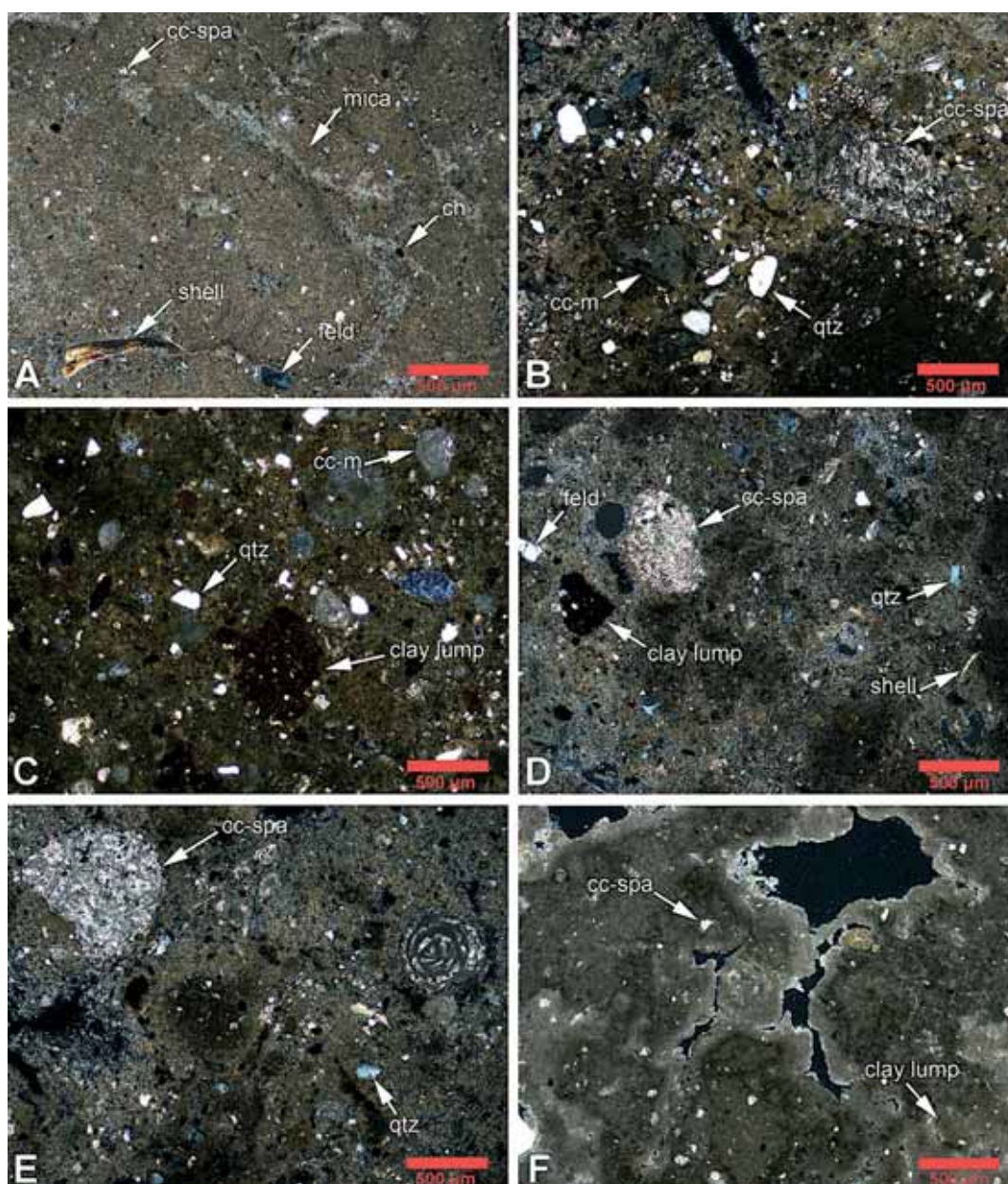


Tavola 8.19 - Tutte le immagini sono state prese con microscopio in luce cross-polarizzata. A) Sezione sottile di mattone grigio del Bronzo Antico IV; B) Sezione sottile di un mattone arancione del Bronzo Medio II; C) Sezione sottile di un mattone rosso del Ferro II; D) Sezione sottile di un mattone bianco persiano; E) Sezione sottile della malta di allettamento; F) Sezione sottile intonaco.

Legenda: qtz = quarzo, feld = feldspato, cc-spa = calcite spartica, cc-m = calcite micritica, ch = carbone. (Foto da Quarta, Marchiori e Melica 2014:539)

CAPITOLO IX

Caratteristiche fisico-meccaniche dei campioni

“Une simple brique d'adobe séchée au soleil ne résiste pas aux tests de laboratoire; sa résistance moyenne à la compression de 5 à 10 bars ou sa désagrégation totale après immersion dans l'eau suscitent un verdict sévère: matériau inutilisable. C'est pourtant avec de telles briques que l'on a construit au Yémen des édifices de plusieurs étages ou des réservoirs d'eau en Iran”.
(Houben & Guillaud 1989:147)

9.1 - Introduzione

Ai fini di ottenere più informazioni possibili dal materiale, visto l'appartenenza dello stesso alla categoria materiale da costruzione, sono state eseguite delle semplici analisi in laboratorio che hanno permesso di distinguere i materiali anche a livello fisico-strutturale e non solo compositivo.

Grazie alla collaborazione avvenuta tra l'Università di Ingegneria di Siviglia e l'Università Autonoma di Barcellona, sono stati eseguiti test per ottenere il grado di porosità, densità e resistenza dei materiali. Il lavoro è stato svolto nel Laboratorio di ricerca sui Materiali da Costruzione dell'Università di Siviglia (Tav.9.1A-B), con la collaborazione ed esperienza nel settore della resistenza a compressione del Prof. Juan Martín del Río e del Prof. Javier Alejandro per le analisi di porosità e densità dei materiali.

Purtroppo visto l'origine del materiale, sono state affrontate alcune problematiche nella preparazione dei campioni. Per le prove di resistenza a compressione, durante il taglio delle provette cubiche, alcuni campioni non hanno resistito e quindi sono andati perduti. Mentre per il test di porosità, è stato utile sperimentare una tecnica di

misurazione distinta, che utilizzasse un solvente differente dall'acqua, poiché una parte dei campioni non reggeva l'immersione totale in acqua per 24h.

9.2 – Prove per determinare la porosità

I materiali impiegati nelle murature presentano un sistema più o meno continuo di pori attraverso i quali si verifica la migrazione dell'acqua, che è la fonte primaria di degrado. La porosità è il rapporto tra il volume degli spazi vuoti esistenti in una determinata porzione di un materiale e il suo volume complessivo, ed è una caratteristica fondamentale di tutti i materiali da costruzione, che influenza le loro proprietà fisiche (durata, resistenza meccanica, ecc.). La determinazione delle masse volumiche reale e apparente e della porosità totale aperta è regolata dalla norma UNI EN 1936 (Metodi di prova per pietre naturali) che stabilisce un metodo per determinare la massa volumica reale e apparente e la porosità totale aperta delle pietre naturali. Questa metodologia impiega come solvente l'acqua e dopo essiccazione fino a massa costante, la densità apparente e la porosità aperta sono determinate mediante assorbimento d'acqua sotto vuoto e la pesata in acqua dei provini. Visto la natura del materiale sono stati provati, in maniera del tutto sperimentale, diversi solventi in cui immergere i campioni e la risposta migliore si è ottenuta con lo *white spirit*, solvente estratto dal petrolio. Grazie alla possibile comparazione tra i risultati di alcuni campioni che hanno resistito alla sommersione in acqua per 24 h, è stata applicata la tecnica in via del tutto sperimentale (Fig.9.1).

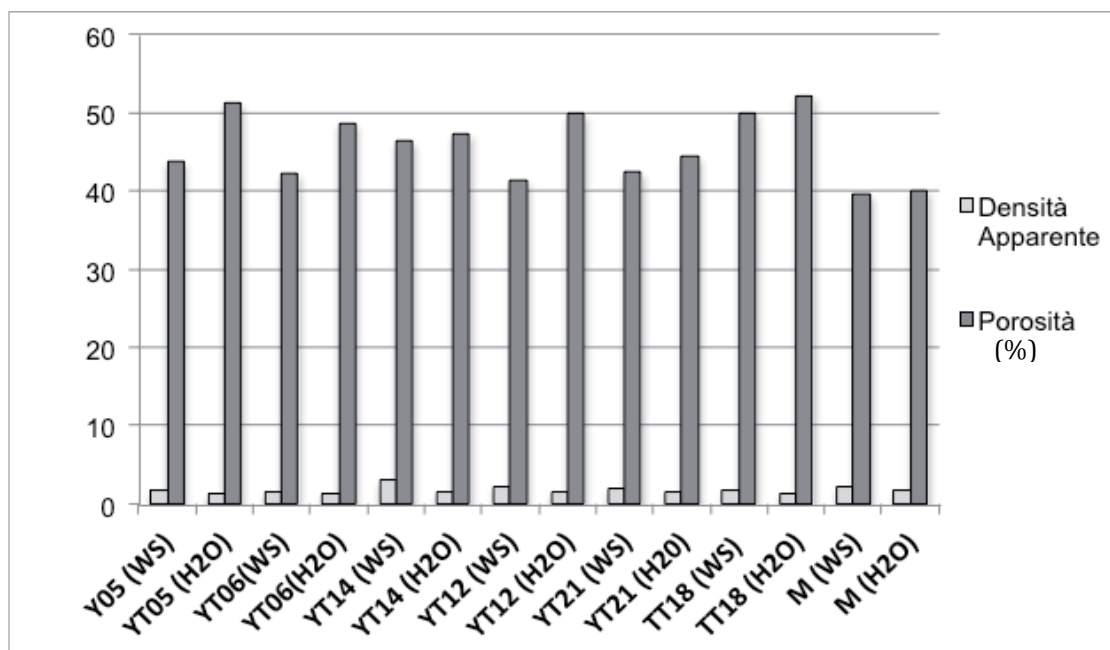


Fig.9.1 – Il grafico riporta le percentuali di porosità delle prove effettuate su alcuni campioni che hanno resistito alla sommersione in acqua per 24h (H₂O) assieme alle percentuali di porosità ottenute effettuando le prove con l'altro solvente (WS).

Il dato più rilevante riguarda il laterizio (M) in cui la differenza di percentuale è molto ridotta nonostante i due liquidi presentino ovviamente due viscosità distinte. Anche il campione TT18 (prelievo di pavimentazione) e YT21 (mattone cotto), avendo una struttura a reticolo più stabile, hanno dato risultati molto simili tra le due prove. Il numero di prove effettuate e il dato non sempre del tutto coerente (Y05/YT06/YT12) dovuto alla natura espandibile delle argille e alla loro reazione con acqua, hanno permesso di avere una visione del tutto preliminare della sperimentazione di tale misurazione. Osservando i dati ottenuti è interessante notare la coerenza tra le due misurazioni che mostra un cambio di porosità, sempre nella stessa maniera. È logico pensare che l'acqua abbia possibilità di raggiungere i micro pori della struttura e quindi presenti un valore in percentuale più elevato.

Visto il risultato ripetitivo che vede una maggiore porosità attraverso la misurazione con acqua, è possibile affermare che la tecnica sperimentale può dare buoni risultati. Bisogna tener presente che con la tecnica analitica della porosimetria

a mercurio, è possibile ottenere il valore assoluto della porosità di un materiale compreso il diametro dei pori.

La classificazione IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) dei pori rispetto al diametro individua tre gruppi: micropori, mesopori e macropori. L'importanza della presenza in un materiale dei micropori è utile ai fini conservativi e può spiegare la differenza presente nella misurazione della porosità tramite acqua e *white spirit*.

I dati comparati ottenuti sono stati ugualmente utili per avere un'idea sul grado di porosità dei materiali studiati.

La strumentazione per eseguire questo tipo di prova in laboratorio, consiste nell'utilizzo di una stufa ventilata che possa mantenere una temperatura costante di 70° per essiccare i materiali ed eliminare l'umidità dai pori (Tav. 9.1C), un recipiente collegato ad una pompa a vuoto che possa mantenere una pressione di circa 20kPa e possa serbare tale pressione durante la graduale immersione dei provini in esso contenuti, una bilancia di precisione con possibilità di pesare il provino in acqua e un calibro di precisione.

Le operazioni da compiere per ottenere la porosità e la densità apparente sono:

1. Pesare ogni provino (P_r) dopo essiccazione, porre i provini in un recipiente a vuoto e diminuire la pressione gradualmente
2. Mantenere questa pressione (20kPa) per un minimo di tre ore, al fine di eliminare l'aria contenuta nei pori aperti del campione (Tav.9.1D)
3. Introdurre gradualmente nel recipiente acqua demineralizzata o altro solvente fino a sommergere totalmente il provino e mantenere la pressione a 2kPa durante l'introduzione e per le successive 24 h
4. Pesare in acqua (h) o altro solvente (w) e registrare la massa (Ph/w)
5. Asciugare velocemente il provino tamponandolo con un panno umido e determinare la massa del provino saturo d'acqua (Ps) (Tav.9.1E)

Sfruttando il principio di Archimede per cui un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto uguale al peso del volume di fluido spostato, avendo misurato il peso reale, il peso sommerso e il peso saturo, otteniamo la porosità tramite questa equazione matematica:

$$\text{Porosità in \%} = \frac{(Ps) - (Pr) * 100}{(Ph/w)}$$

Mentre la densità reale (Dr) e quella apparente (Da) la otteniamo:

$$Dr = \frac{(Pr)}{(Ps) - (Ph/w)}$$

$$Da = \frac{(Pr)}{(Pr) - (Ps)}$$

Nell'insieme i risultati mostrano una porosità abbastanza omogenea con valori che oscillano tra i 30-50%, naturalmente ad alte misure di porosità corrispondono bassi valori di peso specifico e anche una minore resistenza.

9.2.1 – Risultati dei campioni di *Tell Halula*

I materiali provenienti da *Tell Halula*, non avendo buona resistenza all'immersione in acqua, sono stati misurati con l'altro solvente (*white spirit*). Per ottenere informazioni sulla fabbricazione delle diverse strutture individuate nell'insediamento, sono state compiute le prove sui quattro campioni prelevati da tali strutture (Tav.9.1F).

Come si può osservare dal grafico in basso (Fig.9.2), i materiali esaminati non presentano grandi variazioni tra di loro. L'unico valore differente riguarda il campione TH02, prelievo di mattone crudo di una parete, che presenta una porosità maggiore del 50% e una densità apparente minore. Questo potrebbe indicare una differenza nella ricetta della fabbricazione dei mattoni utilizzati per costruire le pareti delle case, in cui è presente più aggregato vegetale nell'impasto.

Il valore più grande di porosità indica anche una maggiore quantità di acqua utilizzata per l'impasto durante la fabbricazione (Sanna & Atzeni 2008).

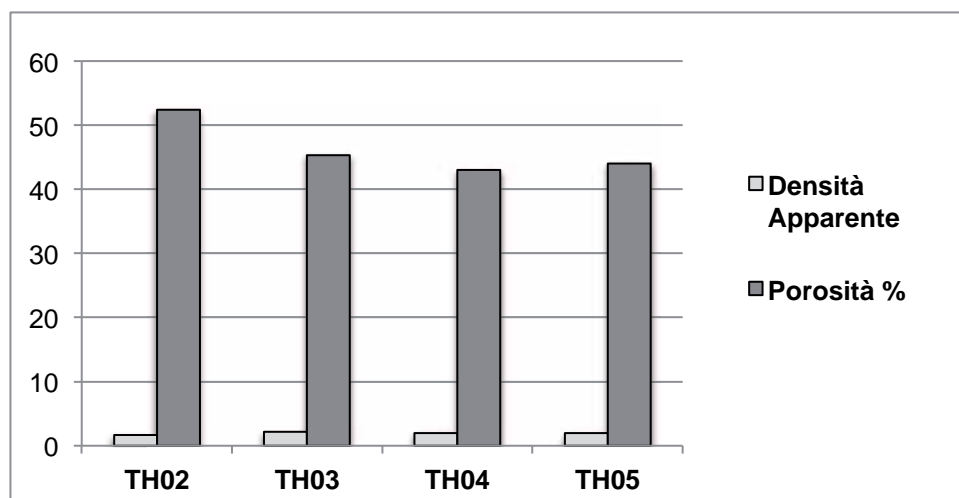


Fig. 9.2 – Grafico dei risultati ottenuti attraverso misurazione della porosità mediante *white spirit*.

9.2.2 – Risultati dei campioni di *Yumuktepe*

Le misurazioni eseguite per i materiali raccolti nel sito archeologico di *Yumuktepe* sono maggiori anche perché alcuni di essi, avendo subito parziale cottura dovuta a fenomeni d'incendio, hanno resistito anche all'immersione in acqua per 24h. Per una corretta lettura dei dati i risultati sono stati esaminati raggruppando gli esiti ottenuti dalle differenti misurazioni.

Nel grafico, in basso, sono riportati i risultati ottenuti attraverso la prova di porosità eseguita con il *white spirit* (Fig.9.3).

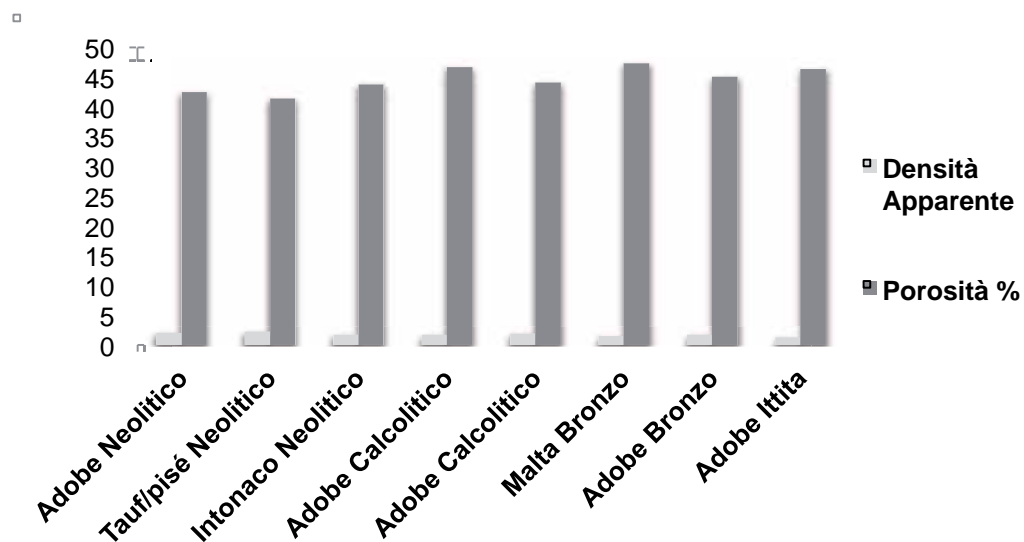


Fig.9.3 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Yumuktepe*, misurate attraverso la tecnica sperimentale che impiega l'altro solvente (*white spirit*).

Nell'insieme i dati presentano una porosità maggiore del 40%, nonostante ci siano delle piccole variazioni tra di esse, i valori oscillano tra il 40% e il 45%. Gli unici dati che si differenziano, superando il 45% sono il mattone calcolitico di fase XV, la malta del bronzo che presenta il valore più alto in assoluto e il mattone ittita.

Solo cinque campioni hanno resistito all'immersione in acqua per 24h, i quattro campioni che hanno subito parziale cottura e il campione di malta. I risultati sono

leggermente più alti dei risultati ottenuti attraverso immersione in *white spirit*, però i valori rimangono sempre intorno al 40-50% (Fig. 9.4). Osservando i risultati è abbastanza logico e coerente notare che i valori più alti siano attribuibili ai campioni di *tauf/pisé* e intonaco neolitico visto l'impiego di maggiori quantitativi di acqua per la preparazione degli impasti. Osservando la scheda del campione d'intonaco è possibile vedere anche un maggiore contenuto di paglia che motiva il valore superiore al 50%.

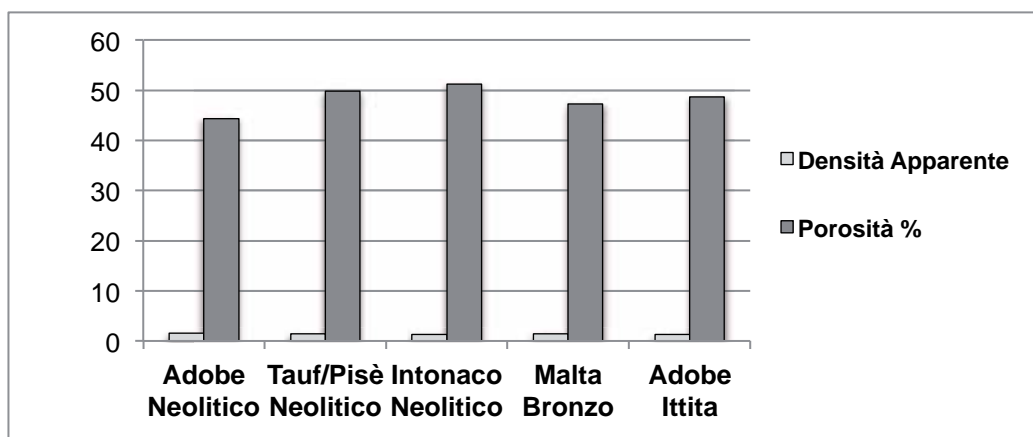


Fig. 9.4 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Yumuktepe*, misurate attraverso la porosimetria ad acqua.

La densità reale dei mattoni presi in esame indica una variazione tra le prove con *white spirit* che presentano un valore medio di $3,22 \text{ g/cm}^3$ a differenza della media ottenuta dai campioni immersi in acqua di $2,73 \text{ g/cm}^3$.

9.2.3 – Risultati dei campioni di *Tell Tuqan*

Anche in questo caso sono presentati i risultati ottenuti attraverso immersione in *white spirit* perché l'unico campione che ha resistito nell'immersione in acqua è il frammento di pavimentazione del Bronzo Antico IV. Nell'insieme i campioni mostrano una porosità vicino al 50% a parte il campione di mattone persiano (Fig.9.5).

I resti del primo campionamento, che si riferiscono alle cronologie più antiche (Bronzo Antico IV e Bronzo Medio II), sono troppo piccoli perché possano dare una misurazione valida, e quindi, non è stato possibile avere un confronto tra i vari mattoni.

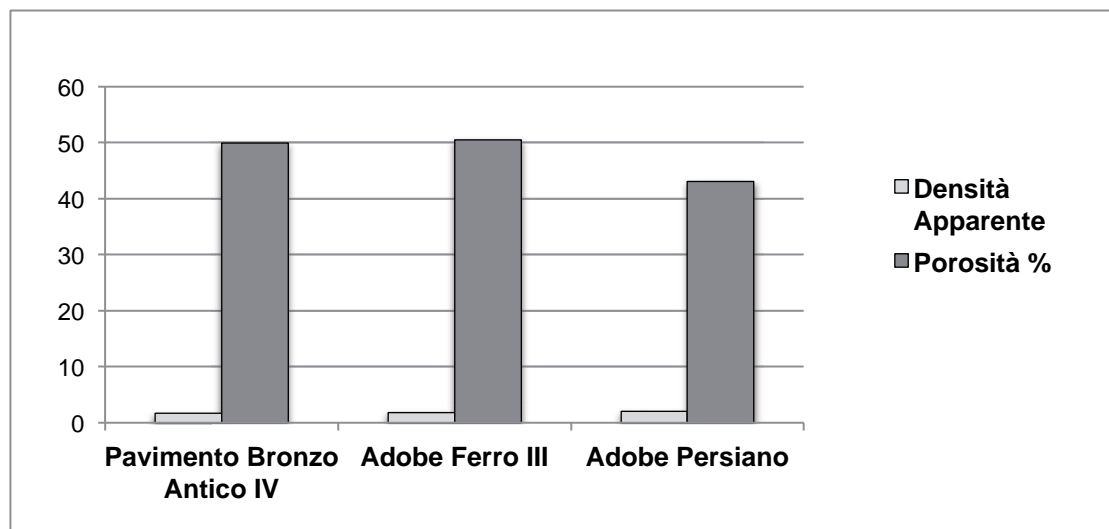


Fig. 9.5 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Tell Tuqan*, misurate attraverso la porosimetria sperimentale che impiega il *white spirit* come solvente.

9.3 - Prove di resistenza a compressione

La strumentazione utilizzata per queste prove sperimentali è una macchina che misura la compressione e flessibilità dei materiali da costruzione chiamata TCCSL modello PCI-30 in accordo con la normativa UNE-EN 1015-11:2000 (Tav.9.2D). Questa norma spagnola riporta tutte le prove e le metodologie da seguire per determinare le caratteristiche fisiche delle malte delle murature.

La normativa, riportata nel paragrafo 1.1 del documento, serve per determinare la resistenza e flessione a compressione della malta forte (malta con aggiunta di calce o gesso) per questo nel caso del materiale proveniente dai vari insediamenti archeologici indagati si è deciso di abbassare il carico della macchina per eseguire la prova su questi campioni composti in maggioranza da terra. Nella ricerca di settore, soprattutto in ambito di architettura edile, alcuni specialisti suggeriscono alcuni parametri ottenuti da sperimentazioni sul materiale (Achenza 2008; Baglioni *et alii* 2010; Rovero 2011). Uno di questi lavori propone, per un risultato valido e omogeneo nella comparazione dei dati, l'utilizzo di presse a bassa velocità di carico e tarate per carichi inferiori a $5000/\text{cm}^2$ (Achenza, 2008).

È importante ricordare che se fossero utilizzati gli stessi parametri applicati per laterizi comuni e calcestruzzi su questa tipologia di materiale, i dati risulterebbero falsati, visto la bassa resistenza alla compressione del materiale testato. Le norme metodologiche in campo di resistenza rilasciate da RILEM sulle costruzioni in *adobe*, citano in maggioranza l'utilizzo di un mattone intero come provino per il test.

Come citato nei paragrafi precedenti, descrittivi le metodologie applicate e il campionamento, non è stato possibile raccogliere un modulo intero a causa di diversi fattori. Dal materiale a disposizione sono stati ricavati dei provini cubici, cercando di creare moduli regolari come riportano le norme, tramite sega circolare (Tav.9.1G-H).

Visto la natura del materiale e l'irregolarità delle facce dei provini, l'operazione seguente è consistita nell'applicazione di uno strato di zolfo liquido che permettesse la livellazione sulle due facce, su cui è stata applicata la forza di compressione, per una corretta misurazione del campione (Tav.9.2A-B). Per evitare di falsare troppo le

analisi, i vuoti caratteristici del materiale, presenti in origine o creati in seguito per scomparsa dell'inerte, non sono stati riempiti con la pasta cercando di non cambiare troppo la struttura (Tav.9.2C).

È bene ricordare che queste prove metodologiche sono state applicate e studiate per materiali da costruzione molto più resistenti della terra, come malte, calcestruzzi, laterizi e molti altri elementi che presentano comunque maggior durezza. Per questo motivo i pochi test effettuati non devono essere considerati come definitivi, ma come primo approccio sperimentale alla tecnica, utile a comprenderne le problematiche del procedimento e le potenzialità della prova meccanica.

9.3.1 – Risultati dei campioni di *Tell Halula*

I risultati dei campioni prelevati nel sito di *Tell Halula*, anche attraverso l'analisi di resistenza mostrano una certa omogeneità nella struttura, con valori pressoché simili escludendo il campione TH01 (Fig.9.6). Com'era stato notato attraverso l'osservazione macroscopica del campione, la presenza di un impasto a matrice arenosa, con pochi inclusi vegetali, di probabile deposizione secondaria, e la facilità di rottura potrebbe confermare l'ipotesi che il campione TH01 sia identificabile come una parte di muratura elevata in *tauf/pisé*, visto anche la difficoltà di individuazione precisa nei giunti di separazione tra i moduli durante il prelievo.

Campione	Area S (cm ²)	Carico Q (Kg)	Resistenza Q/S (Kg/Cm ²)
TH01	13,68	30	2,1
TH01	14,06	64	4,5
TH03	12,24	84	6,9
TH04	26,52	236	8,89
TH07	20,7	164	7,92

Fig. 9.6 – Risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Tell Halula*.

Nell'insieme gli altri campioni TH03, TH04 e TH07, nonostante le differenze presenti nella composizione mineralogica delle terre, mostrano una resistenza con valori pressoché simili. Il prelievo di adobe del muro (TH07) presenta un valore intermedio tra il campione del *grill-plan* (TH04) e il campione di adobe della parete del forno (TH03). Anche durante la frantumazione del materiale per la preparazione dei provini da utilizzare nell'analisi chimica, il campione TH04 presentava una durezza maggiore confronto a tutti gli altri campioni analizzati.

Sarebbe interessante approfondire lo studio con un altro campionamento mirato a verificare e confermare questo risultato, prelevando materiale da distinte strutture identificate come *grill-plan* per capire se questo rimanesse invariato e quindi certo.

Purtroppo il campione TH02, frammento di mattone di parete, su cui era stata compiuta la prova di porosità, presentando molti pori causati dalla presenza di una buona percentuale di paglia all'interno dell'impasto non ha resistito durante l'applicazione dello zolfo sulle due facce (Tav. 9.2E).

Considerando le diverse strutture da cui sono stati prelevati i campioni, con un altro campionamento a blocco, è possibile comprendere meglio la funzione di alcune di esse.

In uno studio recente sulla casa 4H del PPNB di *Tell Halula*, è stato presentato un calcolo statistico sulla tensione che potevano subire la copertura in legno e la struttura muraria (Molist *et alii* 2014). Il calcolo riporta che la tensione della struttura di legno è di 92 kg/cm^2 , inferiore alla resistenza massima di 180 kg/cm^2 . A differenza nella parete costruita la tensione massima è di $0,8 \text{ kg/cm}^2$, dunque sotto il limite di resistenza di 15 kg/cm^2 . Questo dato sarebbe da confermare portando a termine altre prove di resistenza sui mattoni e utilizzando uno sclerometro per ottenere la resistenza reale della struttura muraria. Infatti, se si osservano i risultati ottenuti dalle prove sui campioni di mattone si può notare che un solo mattone può resistere a un carico che va da un minimo di 30 kg/cm^2 fino a un massimo di 164 kg/cm^2 .

9.3.2 – Risultati dei campioni di *Yumuktepe*

Nell'insieme i campioni prelevati dall'insediamento archeologico di *Yumuktepe* mostrano una maggiore resistenza se si osservano i valori riportati in tabella (Fig.9.7).

Escludendo i campioni sperimentali (YTY, YTX, YTW, YTZ) di cui si trattano i dati in seguito, i campioni YT02, prelievo di *pisé/tauf* neolitico, e il campione YT11, prelievo di mattone del periodo ittita, mostrano un maggiore valore di resistenza causato dalla parziale cottura del manufatto.

Come si vede nell'analisi macroscopica dei campioni questi due elementi anche all'osservazione ad occhio nudo presentavano una colorazione rossastra attribuibile alla trasformazione chimica dei minerali causata dall'aumento temperatura forse dovuta ad un probabile incendio.

Campione	Area (S/cm ²)	Carico (Q/Kg)	Resistenza(Q/S=Kg/Cm ²)
YT01	16,81	143	8,50
YT02	5,76	148	25,69*
YT05	8,99	102	11,34•
YT06	18,70	229	12,24•
YT07	17,30	233	13,46•
YT11	6,76	193	28,55*
YT24bianco	8,99	139	15,46
YT26rosso	7,02	63	8,8

Fig.9.7 - Risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Yumuktepe*. Sono stati evidenziati alcuni gruppi: con il simbolo * i valori più alti e con il simbolo • i dati rivelanti riportati sulla descrizione dei risultati.

I campioni YT06 e YT07 rispettivamente appartenenti alle strutture pubbliche dei livelli calcolitici maggiori riconosciuti nel sito archeologico (Livello XV – Livello XVI) riportano una similarità nei valori di resistenza. Questo risultato potrebbe

evidenziare una probabile produzione di fabbrica per questi edifici di tipologia pubblica. Il campione YT24 è un mattone di colore bianco che presenta anche nella composizione mineralogica generale una concentrazione più alta di calce, che ha determinato una risposta migliore durante la prova di compressione del materiale, a differenza del mattone rosso YT22 con minori quantitativi di calce.

9.3.3 – Risultati dei campioni di *Tell Tuqan*

I risultati provenienti dal sito archeologico di *Tell Tuqan*, di numero ridotto per l'assenza di un nuovo campionamento causata dalla difficile situazione presente in Siria, rilevano due gruppi tra cui: TT18 a parte, e quello con TT22 e TT31 (Fig.9.8).

Questi prelievi corrispondono a strutture distinte: TT18 è un campione della pavimentazione di una struttura dell'Età del Bronzo, TT22 è un mattone dell'Età del Ferro ed infine TT31 è un campione del palazzetto persiano di prima fase.

Campione	Area (S/cm ²)	Carico (Q/Kg)	Resistenza(Q/S=Kg/Cm ²)
TT18	13,69	295	21,54*
TT22	16,38	142	8,66
TT31	17,64	190	10,77

Fig.9.8 – La tabella riporta i risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Tell Tuqan*. Con il simbolo * è evidenziato il valore più alto.

Visto i vari strati di preparazione e la differente composizione principale dei minerali presenti negli impasti, la lavorazione distinta e la messa in opera del materiale riporta anche a livello fisico una differenza di resistenza. È abbastanza normale pensare che in strutture come la pavimentazione sia stata applicata una concentrazione maggiore di calce per ottenere più durezza.

Tra i campioni T22 e TT31 la differenza di resistenza è minima e i risultati non offrono molte informazioni in più di quelle ottenute a livello chimico.

Questa differenza minima messa in relazione con la composizione mineralogica generale e la colorazione degli elementi (T22 colore arancio e TT31 colore grigio) potrebbe confermare la concentrazione di calce più alta nel campione del palazzetto persiano (TT31).

9.4 – Test granulometrici

Per calcolare la curva granulometrica dei campioni sono stati prescelti solo alcuni dei prelievi dai distinti insediamenti. Per approfondire personalmente la metodologia, alcuni campioni provenienti da *Tell Halula* sono stati analizzati nel laboratorio dell'Università di Siviglia attraverso il vaglio dei setacci granulometrici in dotazione (Tav.9.1B). Dopo la prova su alcuni campioni, eseguita per comprendere il procedimento di determinazione granulometrica, i campioni sono stati analizzati da un laboratorio esterno. L'operazione di setacciatura è possibile solo per le particelle maggiori di 74μ , poiché per i granuli di dimensioni inferiori si usa la tecnica della sedimentazione.

Il laboratorio Geoprove s.a.s. di Branca Loretta & C. che esegue prove su materiali da costruzione e analisi su terre, in passato aveva già collaborato alla ricerca per la determinazione della curva granulometrica dei campioni di *Tell Tuqan*. Per una corretta presentazione dei dati mi è sembrato opportuno far eseguire i test da questo laboratorio. Le curve granulometriche presentate riportano in ascissa, in scala logaritmica, il diametro delle particelle e in ordinata, la percentuale di “passante” e/o “trattenuto”. Disegnata la curva granulometrica è possibile denominare una terra assegnandole il nome corrispondente alla frazione granulometrica preminente. Ad esempio, se la frazione dominante è costituita da sabbia, ma anche in buona concentrazione limo, la denominazione di tale terra sarà:

- Sabbia con limo: se la frazione limosa è maggiore del 25%.
- Sabbia limosa: se la frazione limosa è compresa tra il 15 e il 25%.

- Sabbia debolmente limosa: se la frazione limosa è inferiore al 15%.

Sono stati inviati al laboratorio quattro campioni di *Tell Halula* e cinque prelievi di *Yumuktepe*. Essendo ridondante e avendo scarse possibilità economiche per il sito di *Tell Tuqan* sono presentati i dati vecchi.

9.4.1 – Risultati *Tell Halula*

Per una corretta presentazione dei dati ho scelto di inserire nella tabella ottenuta dal laboratorio esterno anche i dati in percentuale dei campioni esaminati personalmente (Fig.9.10). Nell'insieme i manufatti provenienti da *Tell Halula* sono costituiti da una matrice di fondo fine di tipo argilloso-limoso.

CAMPIONE	GHIAIA%	SABBIA%	LIMO%	ARGILLA%
1-TH03	0.0	19.7	37.5	42.8
2-TH04	0.5	8.5	62.4	28.6
3-TH07	0.5	9.8	42.5	47.2
4-TH19	0.7	9.6	41.8	47.9
5-TH05	0.5	20.5	59.2	19.08
6-TH02	0.5	10.2	42.4	46.9
7-TH01	0.0	18.7	39.6	41.7

Fig. 9.10 – Nella tabella sono riportate le percentuali delle frazioni determinate nelle terre. I primi quattro dati provengono dal laboratorio, mentre gli ultimi tre sono stati determinati personalmente nel laboratorio di Siviglia.

Osservando la rappresentazione grafica dei valori, è interessante notare che i prelievi di mattone e di rivestimento (TH02, TH07, TH19) non presentino grandi differenze tra loro (Fig. 9.11). L'unico elemento proveniente da una struttura muraria

è il campione TH01 che presenta una maggiore percentuale di sabbia e l'assenza di ghiaia.

Questo dato confermerebbe ulteriormente la possibile distinzione dell'elemento strutturale come parte di parete costruita o restaurata attraverso la tecnica del *tauf/pisé* e non in mattoni.

Dall'analisi statistica resa graficamente attraverso il diagramma triangolare si osserva che le percentuali di limo e argilla subiscono una variazione notevole nei campioni delle strutture particolari come il silos TH05 e il *grill plan* TH04 (Fig. 9.12).

In questo caso il dato potrebbe indicare una lavorazione differente delle terre per ottenere un prodotto finale diverso.

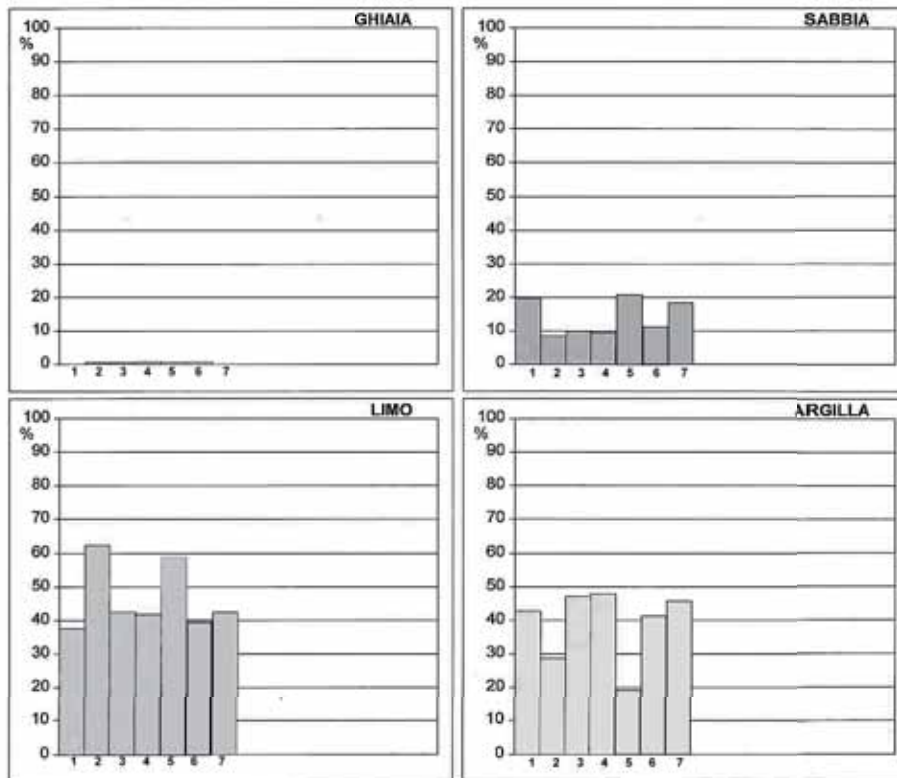


Fig. 9.11 – Rappresentazione grafica delle percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla nei campioni di *Tell Halula*.

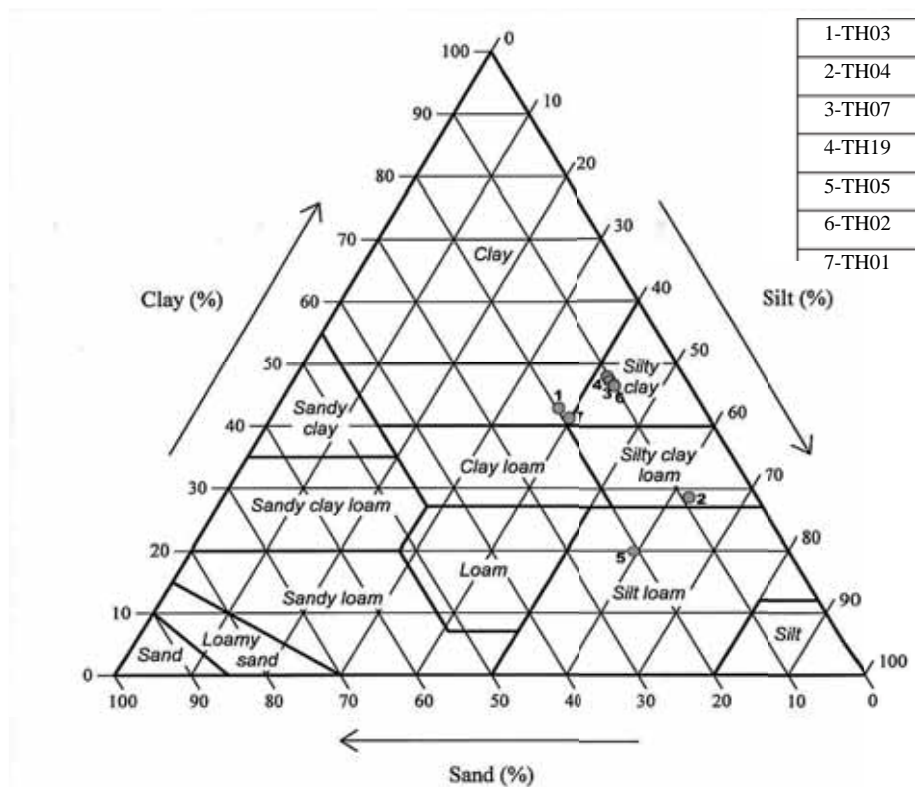


Fig. 9.12 – Diagramma triangolare dell'analisi statistica dei risultati.

Soprattutto per il campione di silos TH05, anche attraverso la semplice osservazione, si poteva notare una differenza nell'aggregato con una matrice più grossolana e una maggiore concentrazione d'inerti.

Dalle curve granulometriche ottenute dal laboratorio geotecnico, si possono distinguere due gruppi d'impasto: il primo caratterizzato da un'argilla con limo sabbiosa (TH01/TH07) (Fig.9.13) e un secondo da un'argilla con limo debolmente sabbioso (TH02/TH07/TH19) (Fig.9.14). La curva granulometria delle due strutture particolari si differenzia poiché il campione TH04 è un limo con argilla debolmente sabbiosa (Fig.9.15) mentre il TH05 è un limo con sabbia argilloso.

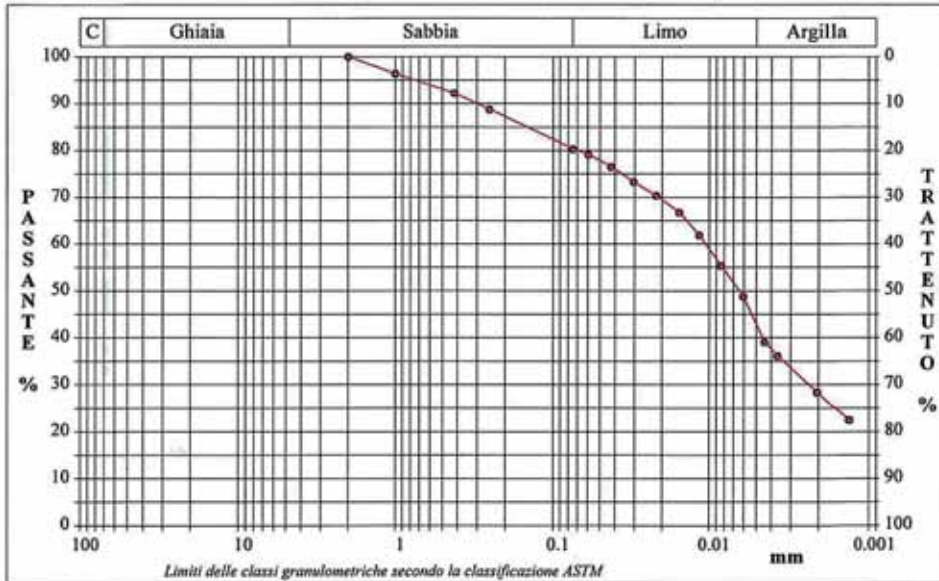
CERTIFICATO DI PROVA N°: 70/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/02/15	Inizio analisi: 27/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 30/01/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: TELL HALULA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TH 03 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D10	---	mm
Sabbia	19.7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	91.9 %	D30	0.00232	mm
Limo	37.5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	80.3 %	D50	0.00645	mm
Argilla	42.8 %			D60	0.01061	mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D90	0.30151	mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
2.0000	100.00	0.0597	79.11	0.0116	61.86	0.0020	28.32		
1.0000	96.36	0.0427	76.51	0.0084	55.35	0.0013	22.46		
0.4200	92.24	0.0306	73.25	0.0061	48.83				
0.2500	88.73	0.0219	70.32	0.0044	39.07				
0.0750	80.27	0.0157	66.74	0.0037	36.14				

ARGILLA CON LIMO SABBIOSA.

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015



Fig. 9.13 – Curva granulometrica del prelievo di mattone costituente un braccio del forno.

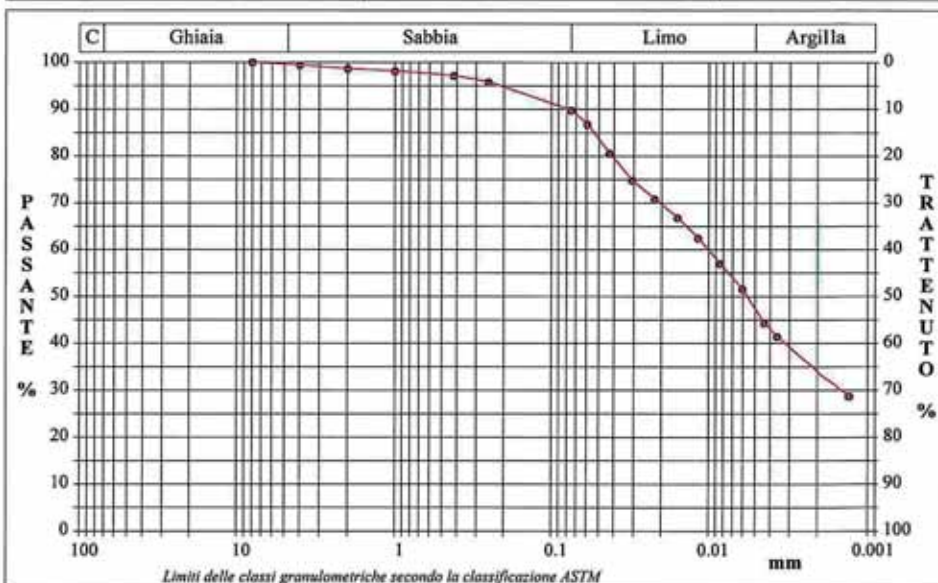
CERTIFICATO DI PROVA N°: 72/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/02/15	Inizio analisi: 27/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 30/01/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: TELL HALULA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TH 07 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	98.6 %	D10	--- mm
Sabbia	9.8 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	97.0 %	D30	0.00146 mm
Limo	42.5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	89.7 %	D50	0.00567 mm
Argilla	47.2 %			D60	0.01015 mm
Coefficiente di uniformità ---		Coefficiente di curvatura ---		D90	0.07937 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8.0000	100.00	0.2500	95.75	0.0222	70.78	0.0044	44.29		
4.0000	99.40	0.0750	89.72	0.0159	66.79	0.0036	41.38		
2.0000	98.64	0.0595	86.76	0.0118	62.44	0.0013	28.68		
1.0000	98.11	0.0430	80.58	0.0085	56.99				
0.4200	97.09	0.0310	74.78	0.0061	51.55				

ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015



Fig. 9.14 – Curva granulometrica del prelievo di mattone crudo.

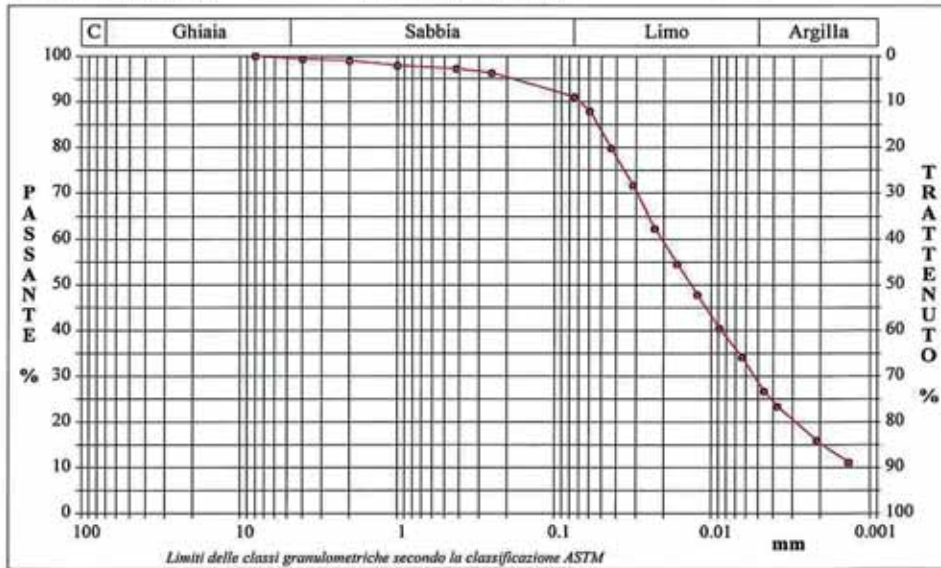
CERTIFICATO DI PROVA N°: 71/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/02/15	Inizio analisi: 27/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 30/01/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: TELL HALULA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TH 04 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99.0 %	D10	--- mm
Sabbia	8.5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	97.1 %	D30	0.00532 mm
Limo	62.4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	91.0 %	D50	0.01354 mm
Argilla	28.6 %			D60	0.02077 mm
Coefficiente di uniformità ---		Coefficiente di curvatura ---		D90	0.06950 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8.0000	100.00	0.2500	96.27	0.0229	62.32	0.0046	26.71		
4.0000	99.35	0.0750	91.03	0.0165	54.53	0.0038	23.37		
2.0000	98.99	0.0596	87.92	0.0123	47.85	0.0021	15.95		
1.0000	97.90	0.0433	79.76	0.0089	40.43	0.0014	11.13		
0.4200	97.24	0.0315	71.60	0.0064	34.13				

LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO.

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015



Tecnico Specializzato
Dott. Raffaella Corvaglia



Direttore del Laboratorio
Dott. Marcello De Donatis

Fig. 9.15 – Curva granulometrica del prelievo dalla struttura grill plan.

9.4.2 – Risultati *Yumuktepe*

In generale le terre di *Yumuktepe* sono caratterizzate da una matrice limosa sabbiosa con bassa percentuale in contenuto di argilla. Anche in questo caso se si osserva l'analisi statistica attraverso il diagramma triangolare, la separazione dei campioni in due gruppi abbastanza (Fig. 9.16).

A differenza dei reperti raccolti a *Tell Halula*, dove erano stati esaminati prelievi distinti, nel caso di *Yumuktepe* si tratta solo di frammenti di mattone crudo dalle diverse fasi cronologiche riconosciute nel sito (Fig. 9.17).

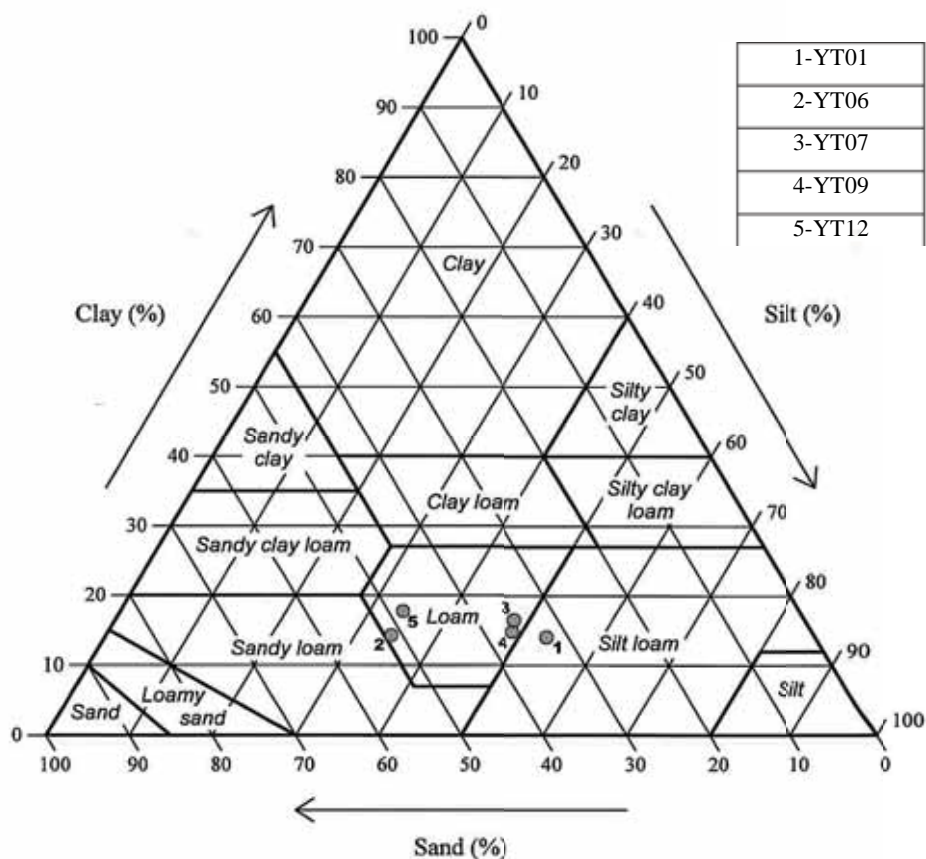


Fig. 9.16 - Diagramma triangolare dove sono riportati i risultati dei campioni di *Yumuktepe*

Il frammento di mattone neolitico analizzato, come riportato nella curva granulometrica è l'unico costituito da un limo con sabbia argilloso (Fig. 9.18).

CAMPIONE	GHIAIA%	SABBIA%	LIMO%	ARGILLA%
1-YT01 Neolitico	0.0	32.6	53.4	14.0
2-YT06 Calcolitico (L.XV)	1.9	49.5	34.4	14.2
3-YT07 Calcolitico (L.XVI)	0.0	35.3	48.2	16.5
4-YT09 Bronzo	0.0	36.3	48.9	14.8
5-YT12 Ittita	1.3	46.9	34.1	17.7

Fig. 9.17 – Tabella con i valori in percentuale della quantità di ghiaia, sabbia, limo e argilla presenti nei prelievi di mattone delle terre di *Yumuktepe*.

Mentre i frammenti di mattone calcolitico dei Livelli XV e della muraglia ittita sono caratterizzati da terre costituite da sabbie con limo argillose (Fig. 9.19). Questo dato concordante è interessante poiché questi due prelievi sono stati compiuti su due strutture pubbliche: l'edificio tripartito calcolitico e dai resti del muro di cinta ittita.

Infine, i prelievi di mattone calcolitico dei Livelli XVI e quello del bronzo sono caratterizzati da terre da limi con sabbia argillosi, con una percentuale più alta di sabbia a differenza del mattone neolitico (Fig. 9.20).

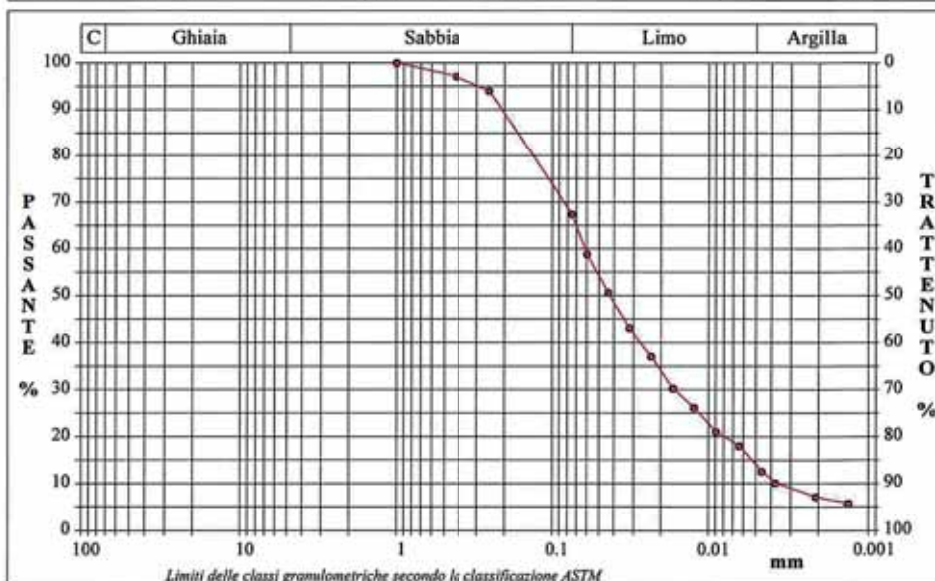
CERTIFICATO DI PROVA N°: 76/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 05/02/15	Inizio analisi: 31/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 03/02/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: YUMUKTEPE
SONDAGGIO: CAMPIONE: YT01 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D10	0.00371 mm
Sabbia	32.6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	96.8 %	D30	0.01645 mm
Limo	53.4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	67.4 %	D50	0.04258 mm
Argilla	14.0 %			D60	0.06164 mm
Coefficiente di uniformità	16.60	Coefficiente di curvatura	1.18	D90	0.20836 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
1.0000	100.00	0.0438	50.68	0.0089	20.98	0.0014	5.72		
0.4200	97.10	0.0319	43.05	0.0064	17.98				
0.2500	94.03	0.0231	37.06	0.0046	12.53				
0.0750	67.41	0.0167	30.24	0.0038	10.08				
0.0598	58.85	0.0124	26.16	0.0021	7.08				

LIMO CON SABBIA ARGILLOSO.

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015



Fig. 9.18 – Curva granulometrica del frammento di mattone neolitico.

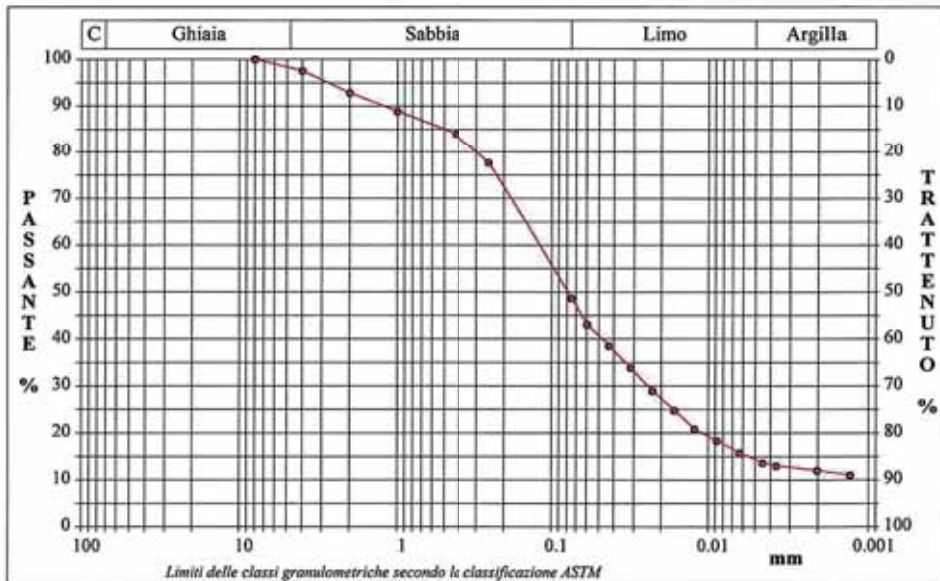
CERTIFICATO DI PROVA N°: 74/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 05/02/15	Inizio analisi: 31/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 03/02/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: YUMUKTEPE
SONDAGGIO: CAMPIONE: YT06 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	1.9 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	92.8 %	D10	--- mm
Sabbia	49.5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	83.4 %	D30	0.02454 mm
Limo	34.4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	48.6 %	D50	0.07935 mm
Argilla	14.2 %			D60	0.12019 mm
Coefficiente di uniformità ---		Coefficiente di curvatura ---		D90	1.22613 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8.0000	100.00	0.2500	77.64	0.0228	28.90	0.0045	13.56		
4.0000	97.50	0.0750	48.64	0.0165	24.77	0.0037	12.97		
2.0000	92.81	0.0596	43.05	0.0123	20.84	0.0020	11.99		
1.0000	88.83	0.0433	38.53	0.0088	18.28	0.0013	11.01		
0.4200	83.98	0.0315	33.81	0.0063	15.73				

SABBIA CON LIMO ARGILLOSA

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015

Tecnico sperimentatore
Dott. Raffaele Corvaglia

Direttore del Laboratorio
Dott. Marcello De Donatis

Fig. 9.19 – Curva granulometrica del prelievo di mattone calcolitico dell’edificio tripartito.

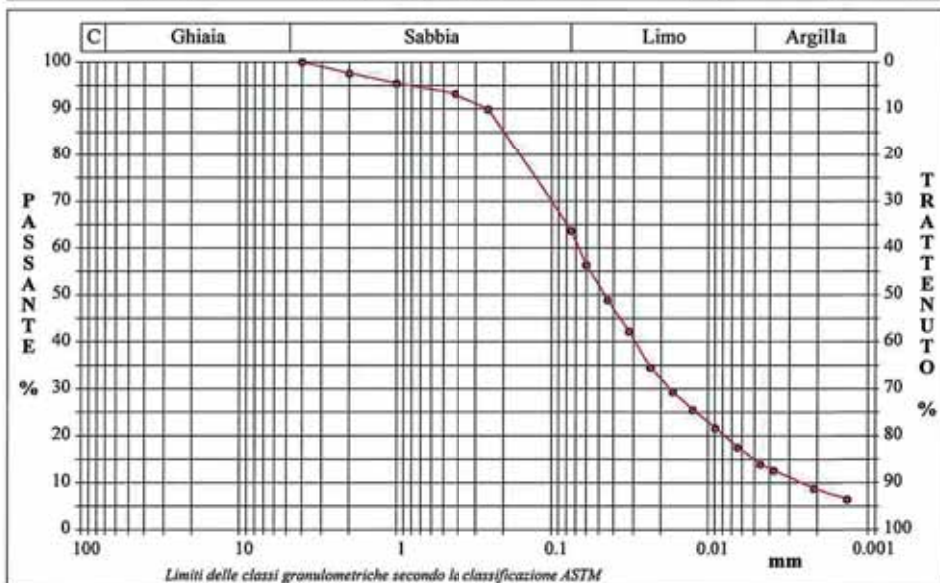
CERTIFICATO DI PROVA N°: 77/Gr/15	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 05/02/15	Inizio analisi: 31/01/15
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 4 del 15-01-15		Apertura campione: 30/01/15	Fine analisi: 03/02/15

COMMITTENTE: Dott.ssa CHIARA MARCHIORI
RIFERIMENTO: YUMUKTEPE
SONDAGGIO: CAMPIONE: YT09 PROFONDITA': m

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	97.6 %	D10	0.00253 mm
Sabbia	36.3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	92.9 %	D30	0.01759 mm
Limo	48.9 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	63.7 %	D50	0.04611 mm
Argilla	14.8 %			D60	0.06715 mm
Coefficiente di uniformità	26.50	Coefficiente di curvatura	1.82	D90	0.25331 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4.0000	100.00	0.0750	63.66	0.0169	29.33	0.0038	12.61		
2.0000	97.58	0.0601	56.35	0.0125	25.47	0.0021	8.75		
1.0000	95.44	0.0440	48.89	0.0090	21.61	0.0014	6.43		
0.4200	93.26	0.0320	42.20	0.0064	17.50				
0.2500	89.91	0.0234	34.48	0.0046	13.89				

LIMO CON SABBIA ARGILLOSO.

SGEO - Laboratorio 4.2 - 2015



Fig. 9.20 – Curva granulometrica del prelievo di mattone del bronzo

9.4.3 – Risultati *Tell Tuqan*

I campioni analizzati per questo insediamento sono stati di più, circa una ventina, poiché il lavoro passato aveva previsto due campionature, una compiuta nella campagna del 2008 e una seguente effettuata l'anno dopo per verificare il risultato delle analisi presenti. Non potendo aggiungere nuovi dati si presentano quelli della ricerca passata scartando i risultati ridondanti ed evidenziando i valori più importanti.

Nell'insieme, come si può osservare dal diagramma triangolare i mattoni presentano una granulometria abbastanza omogenea che li identifica costituiti da terre in cui la sabbia è la componente predominante (Quarta, Marchiori & Melica 2014) (Fig. 9.21).

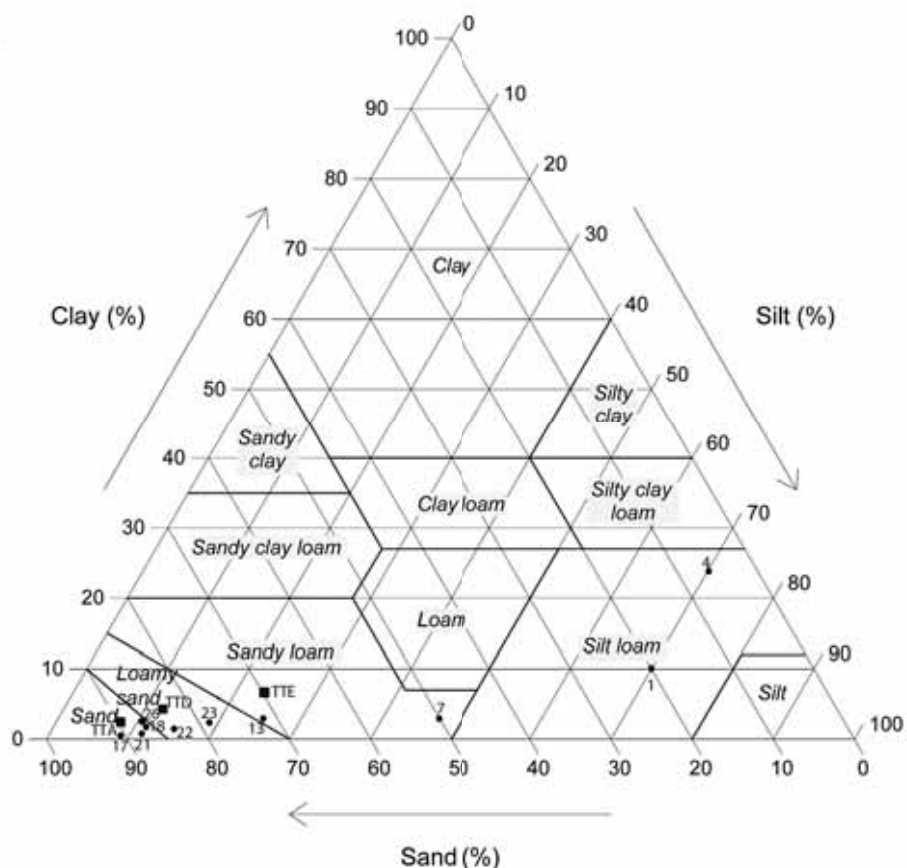


Fig. 9.21 – Diagramma triangolare dove sono riportati i dati dei mattoni e dei campioni di riferimento del sito di *Tell Tuqan*.

Solo alcuni campioni di mattone del Bronzo Medio e del Ferro II mostrano una granulometria distinta con una matrice più limosa e una percentuale di argilla lievemente più alta (Fig. 9.22). La diversa granulometria dei materiali potrebbe significare distinte aree di approvvigionamento della materia prima a quei tempi o l'uso di una diversa tecnica di produzione, che ha permesso la fabbricazione d'impasti più fini impiegate per i mattoni (Quarta, Marchiori & Melica 2014).

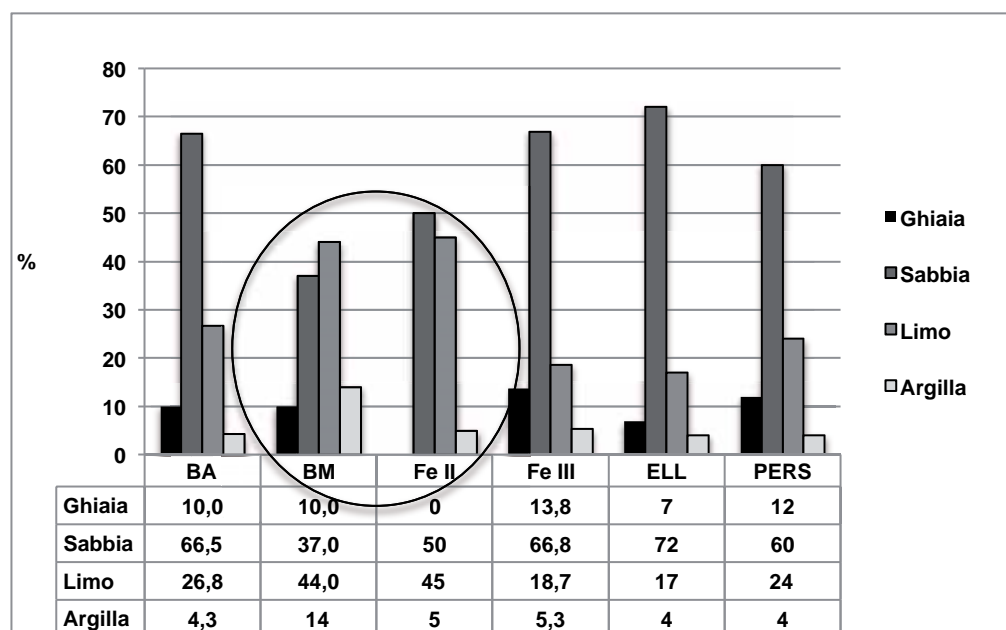


Fig. 9.22 – Grafico dove sono riportate le medie, delle varie fasi cronologiche, ottenute dai risultati granulometrici dei campioni di *Tell Tuqan*.

Un'altra ipotesi è legata al riutilizzo dei materiali dei mattoni che costituivano le pareti del Bronzo Medio per la produzione degli impasti per i materiali impiegati durante il Ferro II, ma questo dovrebbe essere verificata e approfondito dalla ricerca e dai dati archeologici. La curva granulometrica di questi campioni è caratterizzata da terre limo argillose debolmente sabbiose (Fig. 9.23). Mentre gli altri campioni mostrano una curva granulometrica caratterizzata da una matrice molto più sabbiosa come si riscontra nei campioni di terra raccolti per confronto (Fig. 9.24).

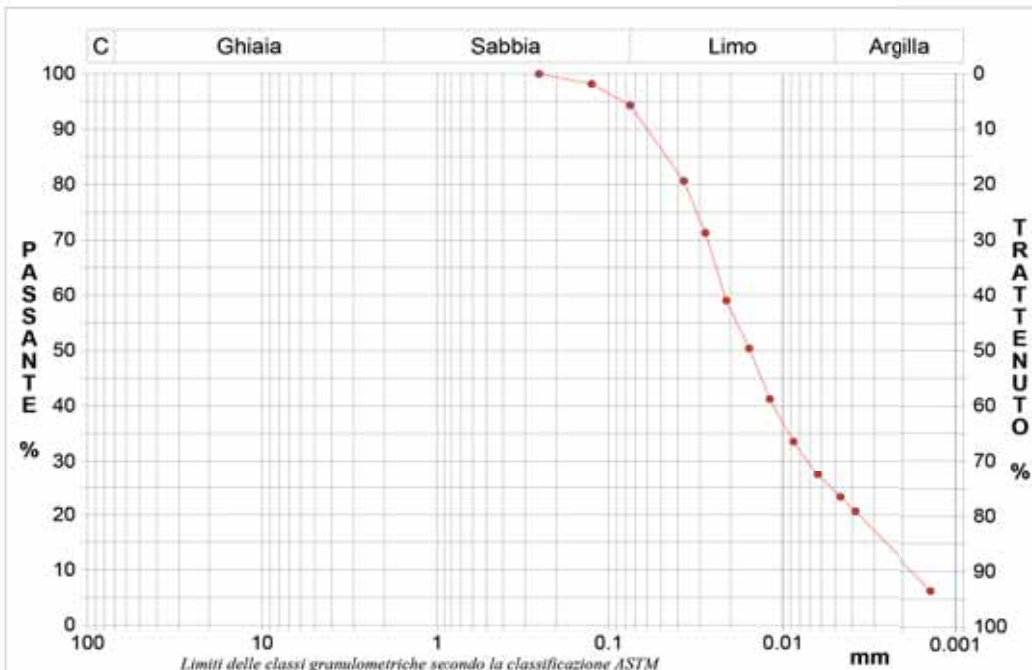
Riportando in tabella i dati granulometrici ottenuti dall'analisi degli intonaci e della malta dei campioni della fase del Ferro III, si osserva un'omogeneità delle terre che

costituiscono la stessa parete (Fig. 9.25). Questo potrebbe spiegare un punto distinto di approvvigionamento della terra che troverebbe conferma anche nella differente curva granulometrica delle terre di confronto raccolte in diversi punti intorno all'insediamento (Fig. 9.26-27).

Verbale accettaz. n°:	Data emissione: 22/01/09
Data accettazione: 14/01/2009	Certificato n°: 42/G/09

COMMITTENTE: DOTT. GIANNI QUARTA
RIFERIMENTO: TESISTA CHIARA MARCHORI - TELL TUQAN - SIRIA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TT04 PROFONDITA': m Superficiale

Ghiaia	0,0 %	Norma ASTM D 422	D ₁₀	0,00179 mm	
Sabbia	5,7 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D ₃₀	0,00722 mm
Limo	70,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	100,0 %	D ₅₀	0,01540 mm
Argilla	24,2 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	94,3 %	D ₆₀	0,02155 mm
Coefficiente di uniformità	12,04	Coefficiente di curvatura	1,35	D ₉₀	0,05998 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
0,2500	100,00	0,0119	41,29						
0,1250	98,17	0,0087	33,61						
0,0750	94,31	0,0063	27,37						
0,0370	80,67	0,0047	23,27						
0,0278	71,30	0,0038	20,64						
0,0211	59,06	0,0014	6,48						
0,0156	50,42								

LIMO ARGILLOSO DEBOLMENTE SABBIOSO.	
Data inizio analisi: 19/01/2009	Data fine analisi: 22/01/2009

Software SGEO
 Direttore del laboratorio: Dott. Geol. Marcello De Donatis
 Tecnico esecutore: Dott. Geol. Raffaele Corvaglia

Fig. 9.23 – Curva granulometrica di un prelievo del mattone crudo del Bronzo Medio.

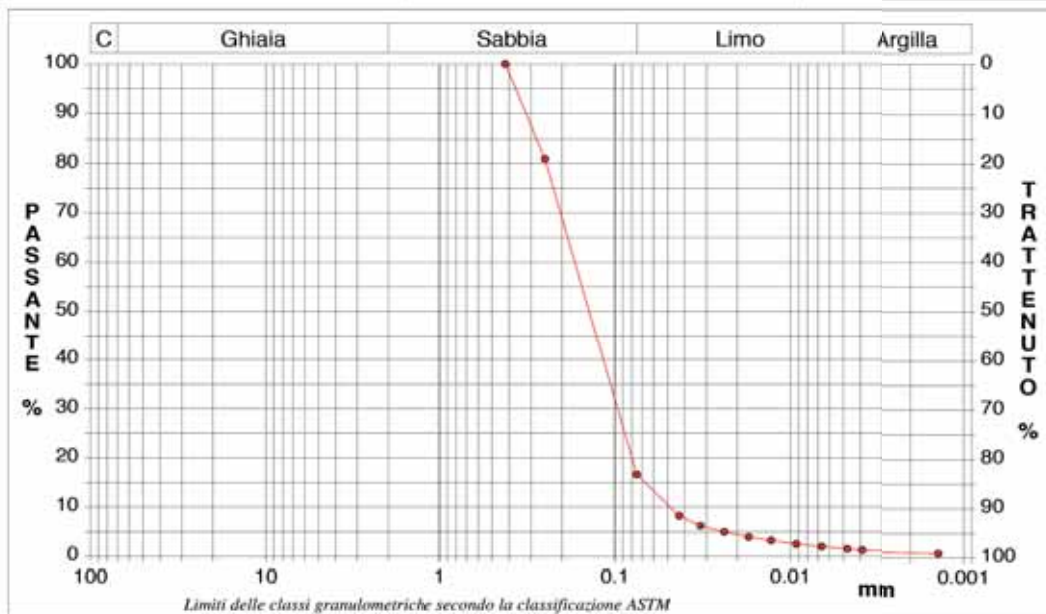
CERTIFICATO DI PROVA N°: 09/G/11	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/01/11
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 57 del 10/12/10		Inizio analisi: 18/12/10 Fire analysis: 20/12/10

COMMITTENTE: DOTT. GIOVANNI QUARTA
RIFERIMENTO: RICERCA C.N.R - TELL TUQAN - SIRIA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TT22 PROFONDITA': m UNITA' STRATIGRAFICA

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D ₁₀	0.04835 mm
Sabbia	83.4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	100.0 %	D ₃₀	0.09634 mm
Limo	15.0 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	16.6 %	D ₅₀	0.14009 mm
Argilla	1.6 %			D ₆₀	0.16893 mm
				D ₉₀	0.31991 mm
Coefficiente di uniformità	3.49	Coefficiente di curvatura	1.14		



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
0.4200	100.00	0.0238	4.99	0.0048	1.53				
0.2500	80.94	0.0173	3.96	0.0039	1.28				
0.0750	16.62	0.0129	3.24	0.0014	0.93				
0.0430	8.23	0.0093	2.53						
0.0325	6.20	0.0066	2.03						

SABBIA LIMOSA.

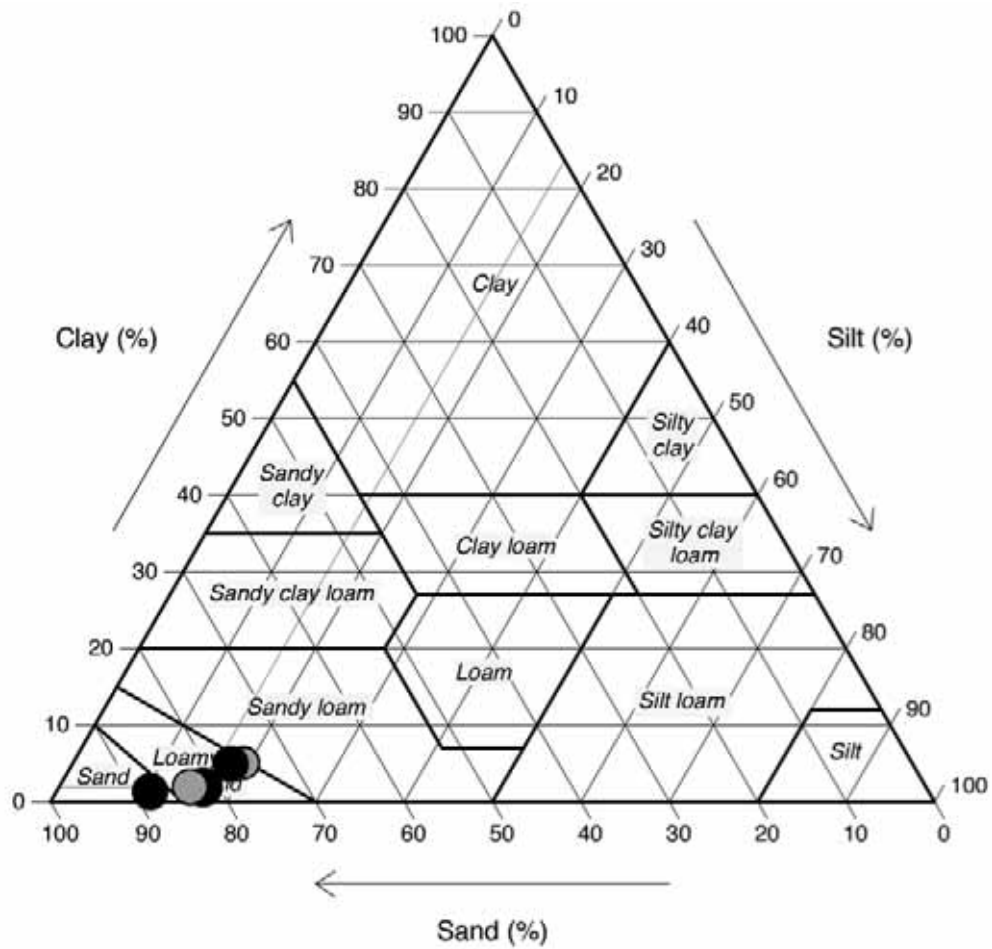
9

Software SGEO

Direttore del laboratorio
Dott. Geol. Marcello De Donatis

Tecnico esecutore
Dott. Geol. Raffaele Corvaglia

Fig. 9.24 - Curva granulometrica di un campione di mattone crudo del Ferro III.



CAMPIONE	GHIAIA%	SABBIA%	LIMO%	ARGILLA%
Intonaco rosato (M805)	12	69.8	16.3	1.9
Malta (M805)	-	76.5	18.3	5.2
Mattone arancio (M805)	25.1	62.8	11.3	0.8
Intonaco bianco (M867)	-	75.3	18.5	6.2
Mattone grigio (M867)	-	83.4	15	1.6

Fig. 9.25 - Diagramma triangolare dei campioni di malta, intonaco e mattone di due murature del Ferro III. Sotto sono riportate le percentuali dell'indagine granulometrica dei campioni.

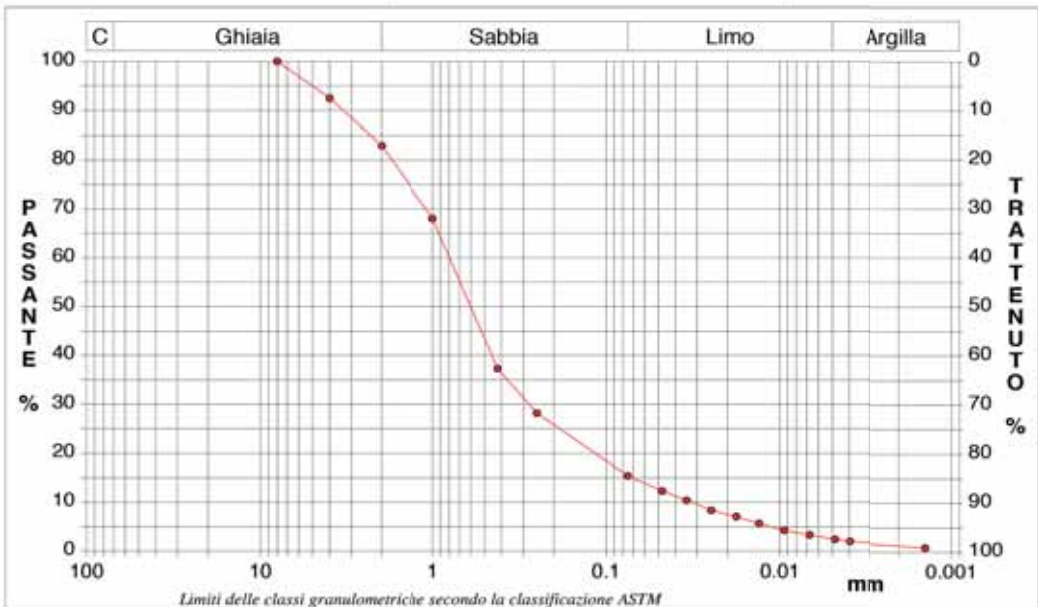
CERTIFICATO DI PROVA N°: 16/G/11	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/01/11
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 57 del 10/12/10		Inizio analisi: 27/12/10 Fine analisi: 29/12/10

COMMITTENTE: DOTT. GIOVANNI QUARTA
RIFERIMENTO: RICERCA C.N.R - TELL TUQAN - SIRIA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TTW PROFONDITA': m UNITA' STRATIGRAFICA

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	17.1 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	82.9 %	D10	0.03234 mm
Sabbia	67.5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	37.3 %	D30	0.27725 mm
Limo	12.9 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	15.4 %	D50	0.60098 mm
Argilla	2.5 %			D60	0.79681 mm
Coefficiente di uniformità	24.64	Coefficiente di curvatura	2.98	D90	3.33680 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8.0000	100.00	0.2500	28.18	0.0178	7.06	0.0039	2.01		
4.0000	92.50	0.0750	15.37	0.0132	5.67	0.0014	0.87		
2.0000	82.93	0.0476	12.29	0.0095	4.27				
1.0000	68.05	0.0344	10.38	0.0067	3.31				
0.4200	37.30	0.0248	8.37	0.0048	2.44				

SABBIA GHIAIOSA E LIMOSA.

16

Software SGEO

Direttore del laboratorio
Dott. Geol. Marcello De Donatis

Tecnico esecutore
Dott. Geol. Raffaele Corvaglia

Fig. 9.26 – Curva granulometrica del campione di terra grigia di riferimento, raccolto nella zona ad ovest dell'insediamento.

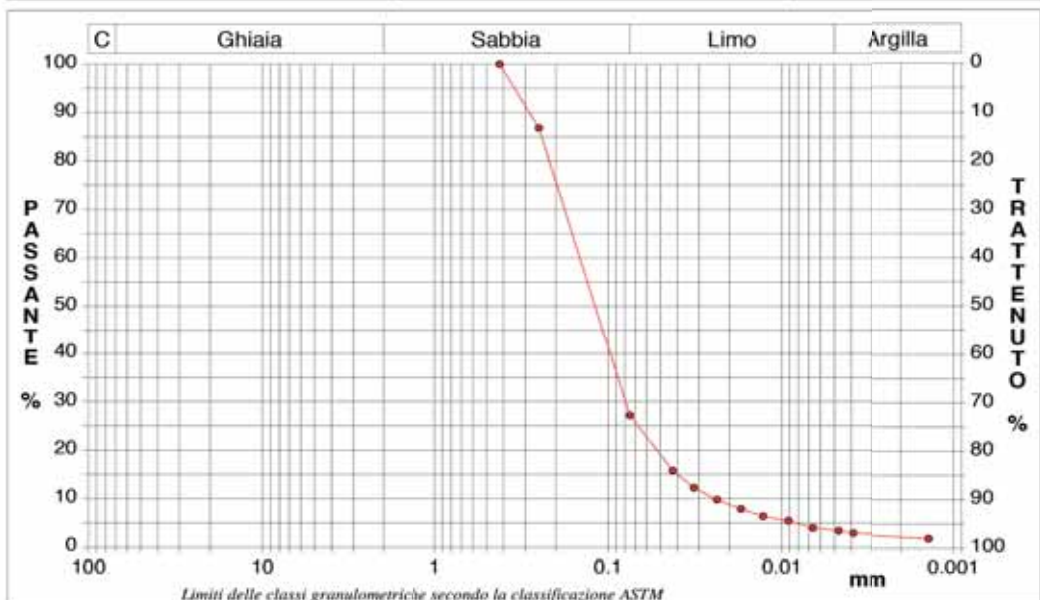
CERTIFICATO DI PROVA N°: 15/G/11	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 04/01/11
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 57 del 10/12/10		Inizio analisi: 18/12/10 Fine analisi: 20/12/10

COMMITTENTE: DOTT. GIOVANNI QUARTA
RIFERIMENTO: RICERCA C.N.R - TELL TUQAN - SIRIA
SONDAGGIO: CAMPIONE: TTE PROFONDITA': m UNITA' STRATIGRAFICA

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D ₁₀	0.02424 mm
Sabbia	72.8 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	100.0 %	D ₃₀	0.07940 mm
Limo	23.7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	27.2 %	D ₅₀	0.11888 mm
Argilla	3.5 %			D ₆₀	0.14547 mm
Coefficiente di uniformità	6.00	Coefficiente di curvatura	1.79	D ₉₀	0.28325 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
0.4200	100.00	0.0236	9.79	0.0047	3.37				
0.2500	86.83	0.0172	7.87	0.0039	2.91				
0.0750	27.18	0.0128	6.35	0.0014	1.98				
0.0426	15.81	0.0092	5.42						
0.0321	12.24	0.0066	3.97						

SABBIA CON LIMO.

Software SGEO

Direttore del laboratorio
Dott. Geol. Marcello De Donatis

Tecnico esecutore
Dott. Geol. Raffaele Corvaglia

Fig. 9.27 – Curva granulometrica del campione di terra rossa di riferimento, raccolto nella zona ad est dell’insediamento.

utilizzata nell'impasto. Infatti, se un'alta porosità indica una maggiore quantità di acqua nell'impasto, al contrario per la resistenza, più alto sarà il valore e meno acqua è stata aggiunta per l'impasto.

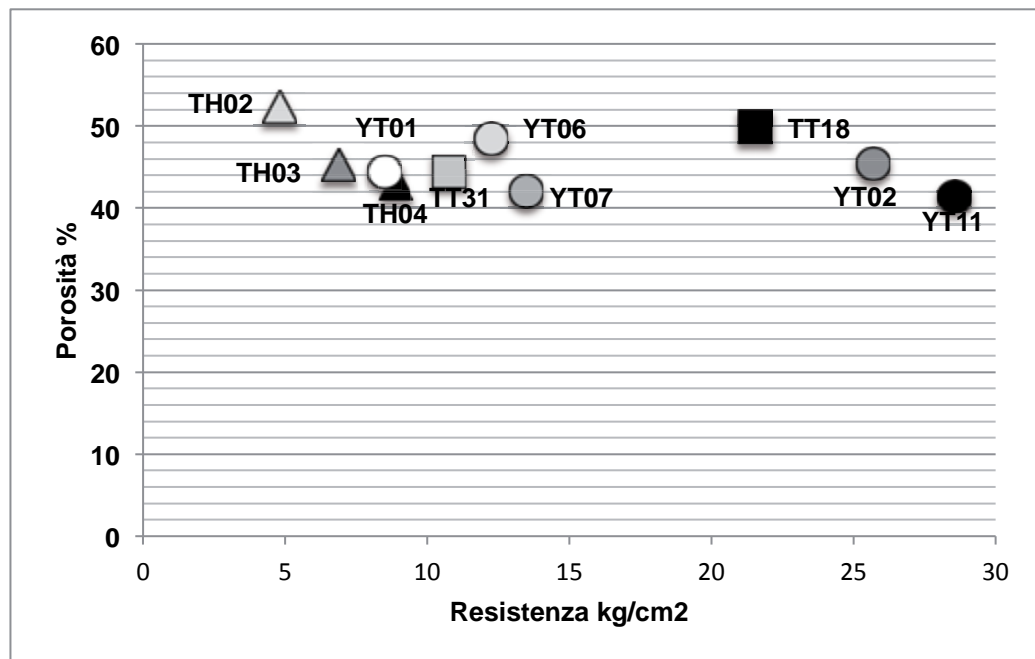


Fig.9.28 - In questo grafico sono riportati i valori ottenuti dalla porosimetria sull'asse delle ordinate e i valori ottenuti attraverso la resistenza a compressione sull'asse delle ascisse.

Osservando la tabella (Fig.9.28) il valore più significativo è quello del campione di pavimentazione del Bronzo Antico IV di Tell Tuqan (TT18) dove ad un'alta resistenza corrisponde anche un'alta porosità. Poiché si tratta di un prelievo pavimentale, è abbastanza probabile che sia stata usata una maggiore quantità di acqua e anche un elemento indurente come la calce che ha aumentato la resistenza.

Per i campioni provenienti da *Tell Halula* si può osservare che nella fabbricazione dei mattoni impiegati per le murature, fabbricati attraverso moduli, è documentato l'utilizzo di un maggiore contenuto di acqua nell'impasto a differenza dei prelievi di altre strutture quali forno e *grill plan*.

9.5 – Conclusioni

In generale tutti campioni esaminati mostrano una porosità compresa tra il 40-50% con una densità reale media di $3,33 \text{ g/cm}^3$ mostrando valori leggermente più alti di quelli proposti nei manuali di costruzione in terra (Sanna & Atzeni 2008; Minke 2010). Ciò non significa che i materiali impiegati non siano di buona qualità anche perché questi fattori possono essere influenzati dall'inerte più grande e dalla presenza in maggiore o minore quantità dell'elemento vegetale (Sanna & Atzeni 2008).

Nello studio archeometrico dei mattoni di *Arslantepe* (Liberotti *et alii* 2009; Alvaro *et alii* 2011) si osserva, anche in questo, una variazione incoerente dei valori che presenta una gamma attorno a tre classi con percentuali di 20, 30 e 40% e una densità apparente $1,55\text{-}2,07 \text{ g/cm}^3$. Un successivo approfondimento di questo studio, con un numero maggiore di campioni, presenta un'altra classe che supera il 50% di porosità (Liberotti & Daneels 2012). L'alta porosità secondo l'autore indicherebbe un'alta quantità di fibra vegetale nell'impasto di quest'ultima classe. Anche in questo caso la densità reale dei manufatti supera la media tra $1,6$ e $2,2 \text{ g/cm}^3$, raggiungendo un valore medio di $2,68 \text{ g/cm}^3$.

I risultati ottenuti dalle prove di resistenza mostrano che tra i tre siti archeologici presi in esame, i materiali provenienti da *Tell Halula* presentano i valori più bassi. Questo potrebbe essere dovuto al tipo di terreno a matrice marnosa e alla granulometria che determina un limo argilloso debolmente sabbioso. Anche la buona percentuale di elementi vegetali utilizzati per migliorare la terra di origine è causa di una minore resistenza a compressione del campione.

A differenza i reperti provenienti da *Yumuktepe*, caratterizzati da una matrice calcarea argillosa e con granulometria che determina terre limose con una buona percentuale di sabbia, ha determinato una resistenza maggiore dei campioni.

La comparazione tra i dati ottenuti attraverso la misurazione della resistenza a compressione con i dati ottenuti con la porosimetria può indicare la quantità di acqua

Infine per i prelievi provenienti da *Yumuktepe*, è possibile osservare due gruppi distinti, il primo caratterizzato dai materiali che non hanno subito parziale cottura (YT01, YT06, YT07) e un secondo che presenta alti valori di porosità con alti valori di resistenza dovuti probabilmente al cambiamento strutturale che hanno subito le terre (YT02, YT11). Visto la tecnica costruttiva che caratterizza il campione YT02 identificato come frammento di *tauf/pisé* risulta interessante il valore di porosità che potrebbe indicare un maggiore quantitativo di acqua utilizzata per l'impasto che non si differenzia molto dalla tecnica costruttiva impiegata per la fabbricazione dei mattoni.

La granulometria delle terre presenta un'alta concentrazione di sabbie negli insediamenti di *Yumuktepe* e *Tell Tuqan*, che soprattutto nel primo caso possono essere anche presenti come aggiunta volontaria vista l'assenza in un buon numero di campioni di elementi vegetali come sgrassanti. Nel caso di *Tell Tuqan* la presenza di una buona concentrazione d'impronte vegetali e la presenza di una terra prevalentemente sabbiosa nei dintorni del *tell* potrebbero indicare la matrice della terra di origine. I dati della granulometria di *Tell Halula*, confermano i dati ottenuti attraverso la petrografia, mostrando delle terre più marnose ricche in limo e argilla con una bassa percentuale di sabbia. In questo caso si è potuto osservare che la diversa miscelazione degli impasti per costruire strutture differenti dai mattoni presentano granulometrie diverse con una presenza di sabbia in percentuale lievemente maggiore.



Tavola 9.1 – A-B) Foto del laboratorio dell’Università di Ingegneria di Siviglia; C) Stufa di essiccamento; D) Recipiente collegato a pompa per portare i campioni in sotto vuoto prima dell’inserimento del liquido; E) Pesata del campione saturo; F) I quattro campioni di *Tell Halula* su cui sono state effettuate le prove fisico-meccaniche; G) Sega circolare per tagliare i provini cubici; H) I provini cubici ottenuti dai campioni esaminati che potevano essere analizzati.



Tavola 9.2 – A) Strumentazione sotto cappa per applicare lo zolfo liquido; B) Operazione di livellamento delle basi di zolfo; C) I campioni dopo l'applicazione dello zolfo; D) Prova di compressione su un campione tramite TCCSL modello PCI-30; E) Il campione TH02 che non ha resistito all'applicazione dello zolfo; F) I campioni sperimentali di Yumuktepe.

CAPITOLO X

Esperienza sul campo e stato di conservazione

*“Conservation may, according to circumstance, include
The processes of: retention or reintroduction of a use;
retention of associations and meanings; maintenance,
preservation, restoration, reconstruction, adaptation
and interpretation; and will commonly include a
combination of more than one of the these”
(1999 Australian ICOMOS Burra Charter Article 14⁶⁵)*

10.1 – Introduzione

Durante questo lavoro mi è sembrato opportuno seguire dei workshop dell’Università Politecnica di Architettura di Valencia dove poter toccare con mano la materia “terra” e poter sperimentare e vedere da vicino le tecniche costruttive di cui sono venuta a conoscenza. Grazie a questa esperienza ho avuto la possibilità di costruire con la terra e di comprendere anche le tecniche nella loro fabbricazione permettendomi così di capire meglio lo stato conservativo e la conservazione di tali strutture.

Come esposto nei capitoli precedenti, nonostante la terra sia un materiale sempre disponibile, non tutte le terre sono adatte per essere impiegate nei vari pezzi edilizi e nelle svariate tecniche costruttive. Per questo esistono prove semplici, da fare direttamente in cantiere, per determinare la qualità e idoneità della terra che è utilizzata per costruire. Nel nostro caso si tratta di terra che è già stata utilizzata per costruire elementi architettonici, quindi le prove sono state utili non tanto per la scelta e la costruzione, ma per osservare la qualità della terra e la differenza tra le terre provenienti da luoghi diversi. Si tratta di una serie di esami semplici, citati in

⁶⁵ The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for the Conservation of Places of Cultural Significance, 1981 (Revised 1999).

precedenza, ai quali si possono affiancare i risultati degli esami di laboratorio per la scelta della qualità migliore nel caso di cantieri edili moderni.

In questo capitolo sono presentate anche le prove fisiche effettuate sui mattoni sperimentali prodotti a *Yumuktepe*. Questi dati permettono delle ipotesi conservative che saranno ulteriormente affrontate nell'ultimo paragrafo sulla conservazione del materiale in terra cruda.

10.2 - Workshop in tecniche costruttive di architettura in terra

Nelle aule e laboratori dell'Università Politecnica di Valencia, sotto la direzione di Fernando Vegas e Camilla Mileto, due professori specializzati in studio e restauro di monumenti in terra cruda, si sono svolti in quattro giornate i lavori del corso di specializzazione. Le prime dodici ore sono servite per avere una preparazione teorica sull'architettura in terra e sulle varie tecniche costruttive presenti dal passato ad oggi, approfondendo le lezioni frontali sulle due tecniche più utilizzate quali l'*adobe* e il *tapial (pisé)*. Il terzo giorno, iniziato di mattina presto e terminatosi la sera, è stato indirizzato all'esperienza pratica con la scelta e il riconoscimento della terra buona per costruire, la fabbricazione degli *adobes*, la produzione del *tapial* e infine la preparazione e applicazione dei diversi rivestimenti.

L'ultimo giorno è stato impiegato per la visita di alcuni monumenti e insediamenti archeologici in terra presenti nel territorio valenziano e nel pomeriggio per lo studio della mappatura del degrado della Torre Mussa a Benifaiò (Valencia).

La giornata si è conclusa nei laboratori dell'Università con la proposta di restauro della torre da i vari gruppi di studiosi organizzatesi prima della mappatura del degrado.

Il corso, cui hanno partecipato ingegneri, architetti ed archeologi è stato molto utile per poter conoscere meglio le tecniche costruttive e comprendere lo stato conservativo e i problemi presenti durante i restauri di questa tipologia di strutture.

10.2.1 - La terra buona per costruire

Con il termine terra s'intende il suolo che per natura è composto di una parte solida (minerale e organica) e una parte liquida e una gassosa (Fratini 2011). Come visto in precedenza i processi che danno origine a un suolo sono molti e dipendono dal clima, dal tipo di roccia madre e dalla morfologia della zona.

Per costruire quindi si utilizza terra estratta ad almeno 20/30 cm di profondità, evitando lo strato superficiale che può contenere sostanze organiche putrescibili e dalla scarsa resistenza meccanica. Questo materiale è composto di ghiaia, sabbia, limo e argilla in diverse proporzioni tra le quali la parte argillosa è quella che ci interessa e può andare dal 5 al 50% secondo le tecniche utilizzate. Ad esempio una terra piuttosto magra e ghiaiosa è adatta per la tecnica della terra battuta, una leggermente grassa e sabbiosa è indicata per il mattone crudo, mentre una terra grassa e limosa si presta per impasti di terra e paglia (Narici 2001:9). Come illustrato nei capitoli precedenti terre molto grasse, con quantità di argilla elevate, richiedono l'aggiunta d'inerti minerali o fibre vegetali.

Anche oggi si utilizzano le prove su campo per testare la qualità della terra a disposizione, soprattutto per determinare la resistenza a secco, la ritrazione, la consistenza e la coesione del materiale. Durante l'esperienza su campo sono state messe sul tavolo alcune ciotole contenenti varie tipologie di terreno a granulometria diversa (Fig. 10.1).



Fig. 10.1 – Le terre proposte tra cui i partecipanti hanno scelto le più valide per la costruzione; quella cerchiata è quella più buona.

Dalla più superficiale contenente molto materiale organico a quella composta da molti noduli di argilla pura, l'inesperienza della maggior parte dei presenti ha fatto scartare la terra più adatta per costruire (Fig.10.2).



Fig. 10.2 - Le terre scelte dai partecipanti al corso tra cui, come si può osservare dalla foto, non c'è quella più buona per costruire.

Infatti, il materiale giusto per la costruzione era la mistura di diversi elementi presenti sul tavolo, quali: una matrice di terra argillosa con una percentuale di sabbia e ghiaia di piccole dimensioni (Fig.10.3). Una volta individuata la materia migliore, sono state applicate tutte quelle analisi preliminari utili al riconoscimento di una buona terra.



Fig. 10.3 – La terra con caratteristiche migliori per costruire come si può osservare dalla foto è una mistura di elementi, quali: sabbia, noduli di argilla e ghiaia di piccole dimensioni.

10.2.2 - Esami preliminari

Esame visivo: senza l'utilizzo di setacci, è possibile identificare la presenza di grani grossi 2mm - 1/2mm (sabbia) e il resto di grani fini (argilla).

Prova dell'odore: si riconosce la presenza di muffa che indica un terreno organico, non adatto per le costruzioni perché soggetto a deterioramento e marcescenza.

Prova del tatto: serve per determinare con sufficiente approssimazione la composizione della terra:

- Sensazione di abrasione: terra-sabbiosa
- Debole rugosità a secco e plasticità ad umido: terra-limosa
- Presenza di agglomerati difficili da separare a secco: terra-argillosa

Prova di lavaggio: Una delle proprietà dell'argilla è seccare macchiando la mano a differenza del limo che è facilmente lavabile. Si prende un campione di terra inumidito e si osserva:

- I grani scivolano via facilmente dalla pelle: prevale componente sabbiosa
- Sulla pelle rimane una patina viscosa di terra: prevale componente argillosa

10.2.3 - Esami qualitativi

Prova di aderenza: si affonda una spatola in un estratto di terra umida. Si valuta la difficoltà nell'affondare la spatola nella pallina di terra:

- Bassa con superficie di taglio opaca: terra sabbiosa
- Alta con superficie di taglio lucida: terra argillosa



Fig.10.4– In questa foto si osservano i partecipanti che lavorano la terra formando le palline, i cordoni e i nastri.

Resistenza a secco: si formano con la terra passata al setaccio (0,4 mm) dei biscotti allo stato plastico e si lasciano seccare. Si prova a rompere e si determina lo stato:

- Difficile da rompere, non spolvera alla rottura: terra argillosa
- Mediamente difficile e si riduce in polvere a seguito di pressioni: terra con argilla limosa
- Facile da rompere con sfarinatura della terra: terra con alta percentuale di sabbia

Prova di consistenza: permette di determinare la percentuale di sabbia all'interno della terra e la presenza di argilla. Con la terra passata al setaccio (0,4 mm) inumidita, si forma una pallina di 2-3 cm e si lavora formando un cordoncino (Fig.10.4). Si osserva il comportamento della terra:

- Non si forma la pallina e il cordone: argilla assente
- Il cordoncino si frantuma ad uno spessore maggiore di 3 mm: argilla insufficiente
- Il cordoncino, dello spessore di 3 mm, si spezza in vari punti: si raccolgono i pezzetti e si forma la pallina, se questa si fessura e si frantuma sotto pressione delle dita c'è poco contenuto di argilla, se occorre uno sforzo elevato per rompere la pallina è presente una grande percentuale di argilla

Prova di coesione (test di Ribbon): aiuta a capire la percentuale di sabbia, argilla e limo. Preparare un sigaro di terra con un diametro di circa 12 mm. Se la terra non presenta fratture modellare il sigaro fino a trasformarlo in un cordone di 3 mm (Fig.10.5). Trattenendo in mano il cordone piccolo si appiattisce cercando di ottenere la lunghezza maggiore. Si osservano il comportamento e la lunghezza:

- Nastro lungo: 25/30 cm presenza di molta argilla
- Nastro corto: 5/10 cm poca presenza di argilla
- Nastro assente: argilla non presente



Fig.10.5 - In questa foto si può osservare la lunghezza del nastro ottenuto che determina una terra con molta argilla.

Prova di sedimentazione: osservazione della composizione del terreno. Si riempie un recipiente di vetro trasparente a fondo piatto per 1/3 di terra asciutta di acqua fino a riempire i 3/4 del contenitore. Agitare affinché tutte le particelle siano in sospensione a lasciarlo riposare per un'ora e agitare nuovamente. Dopodiché avviene la stratificazione fra terra e materiale leggero entro 24h.

Prova di ritrazione: utile per identificare una delle proprietà fisiche della terra che ci permette di comprendere la quantità di argilla. Preparare una pallina di 2/3cm di

diametro. Lavorarla con le mani e con le dita appiattendolo e riformandolo la palla osservandone il comportamento:

- Bastano 5/6 manipolazioni per far venire in superficie l'acqua e pressando la palla si sgretola: sabbie molto fini o limi grossolani.
- Sono necessarie 20/30 manipolazioni per far venire l'acqua in superficie e pressando la palla non si sgretola e non presenta fessurazioni: limo leggermente plastico o argilla limosa.
- Assenza di reazione di ritiro in superficie nel pressare la palla si deforma e rimane brillante: terra argillosa.

Questi test, eseguiti con un certo rigore e sistematicamente, permettono una valutazione abbastanza precisa della terra impiegata per la costruzione (Houben & Guillard 1989, 1994, 2006).

10.3 - Le diverse tecniche da costruzione affrontate durante il workshop

A livello strutturale è possibile distinguere tre gruppi distinti di tecniche costruttive:

- Tecniche monolitiche con funzione portante con le quali si realizzano le strutture.
- Tecniche che utilizzano moduli e/o blocchi con funzione portante o di tamponamento.
- Tecniche di tamponamento non portanti (su strutture portanti a telaio in legno) con le quali si realizzano elementi di chiusura e protezione ambientale

Mentre a livello di processo esecutivo si distinguono due tipologie:

- Tecniche "a bagnato" che necessitano lunghi tempi di essiccazione
- Tecniche "a secco"

Durante il workshop sono state utilizzate entrambe le tipologie applicandole per la fabbricazione di adobe e la produzione di moduli in *pisé*. Infine è stata approfondita l'operazione di protezione delle murature provando a sperimentare vari rivestimenti.

10.3.1 – La tecnica della fabbricazione di *adobe*

La tecnica che utilizza i mattoni crudi per costruire è una delle più antiche e come afferma Asensio Esteban la sua presenza nel Mediterraneo risale al Calcolitico specialmente in zone dove c'è una scarsa disponibilità della pietra (Asensio 1985).

Portata a termine la scelta della terra migliore per costruire, visto la presenza di una granulometria mista è bene setacciare la terra per ottenere una buona granulometria per la miscelazione degli elementi (Fig.10.6)



Fig. 10.6 – In questa foto si può osservare la setacciatura della terra proveniente dal mucchio che è caratterizzata da una granulometria grossolana e il prodotto ottenuto attraverso il setaccio che presenta una granulometria più fine.

Oggi l'impasto più utilizzato prevede una mistura approssimata di argilla/limo uguale a uno, con 55/64% di sabbia e 1/3% di paglia (Yuste 2010).

Dopo un energico mescolamento degli elementi, l'impasto è applicato a mano per mezzo di gettate in un modulo aperto di forma rettangolare (Fig.10.7), che può essere di legno o metallo, il quale viene precedentemente immerso in acqua o unto con dell'olio per evitare la coesione della terra al modulo e facilitarne il distacco (Fig.10.8).

Nei paesi industrializzati visto il lungo procedimento di fabbricazione a mano grazie ad una produzione meccanica si arriva a produrre 10.000 mattoni al giorno da poter essiccare come nel caso statunitense (Graham Mc Henry P. 1984).

La misura più utilizzata in Spagna è 35x20x10 però può variare da regione a regione come dimostra il “*chinguito*” un adobe con misure ridotte utilizzato in Tierra de Campos (Yuste 2010).



Fig. 10.7 – In queste foto si vedono le operazioni di miscelazione della terra con acqua inizialmente e poi l'aggiunta della paglia. L'ultima foto in basso mostra la gettata dell'impasto nel modulo.



Fig. 10.8 – Nella prima foto a sinistra è visibile l’immersione degli stampi in bacinelle riempite di acqua, la foto centrale immortalata l’attimo precedente il distacco dello stampo e infine l’ultima mostra i vari adobes dopo la produzione.

10.3.2 – La tecnica della fabbricazione di *tapia*

La *tapia* o *pisé* fa parte del gruppo di tecniche costruttive a modulo e si fabbrica utilizzando una cassaforma lignea chiamata “*tapial*” dove al suo interno è gettato un impasto di terra che sarà in seguito pressato con un pestello (Lopez Martinez 1999). A differenza dell’adobe questo procedimento è svolto tramite una tecnica “a secco” dove il blocco si crea grazie alla compattazione di sabbia, calce e terra e l’aggiunta di acqua è minima e serve solo ad aiutare la compattazione dei grani. L’operazione di compattazione dei grani attraverso l’ausilio di pestelli di diversa natura, legno e/o metallo, è una fase molto importante poiché donerà maggiore o minore resistenza alla struttura muraria (Fig. 10.9).

Una volta terminata la compattazione della terra si smonta la cassaforma e si rimonta affianco per completare il filare, alla fine, raggiunta la lunghezza del tratto di muratura, si procede con l’elevato ponendo la cassaforma nel centro tra i due moduli di base (Fig. 10.10). In Spagna ne fecero uso i Romani e in seguito la tecnica trovò

una grande espansione grazie agli arabi e alle loro fortezze ispanico-musulmane come l'Alhambra di Granada, Castillo de Feli, Torre de Mena Lorca, etc.

A differenza dell'adobe non è registrato un modulo costante, durante il medioevo ed esattamente nei secoli XI-XII è registrata un'altezza pari a 72/87 cm dei moduli per una lunghezza di 70/90 cm, caso estremo della muraglia di Murcia 110 cm, mentre per la larghezza 40/50cm (Pavon Maldonado B. 1993).



Fig. 10.9 - In queste due foto si vedono l'applicazione della terra e poi l'operazione di compattazione dei grani. Come si può osservare il livello iniziale della terra e quello finale non coincide, questa forte compattazione dei grani ottenuta attraverso l'ausilio dei pestelli dona resistenza alla struttura.



Fig. 10.10 - Nella foto a sinistra, finita la compattazione, si monta la cassaforma. A destra, la parte di parete elevata con la tecnica del *pisé*.

L'impasto più utilizzato prevede una quantità non elevata di argilla 15/20%, limo 10/25%, sabbia 50/70% con ghiaia di piccole dimensioni e con la presenza di materia organica sotto il 2%. Senza approfondire troppo lo studio di questa tecnica che esula dai fini della ricerca stessa, è giusto ricordare che dal tempo dei romani fino ad oggi agli impasti per la costruzione in terra poteva essere aggiunta della calce e/o pozzolana in passato, mentre oggi è possibile trovare impiegato il cemento.

10.3.3 – Il rivestimento delle murature

Essendo queste murature facilmente degradabili dagli effetti causati dagli agenti atmosferici, è sempre raccomandato, come abbiamo visto, l'utilizzo di un rivestimento di terra delle superfici. Avendo a che fare con un materiale instabile e "vivo"⁶⁶, è preferibile applicare un tipo di rivestimento che sia traspirabile in maniera da non bloccare gli scambi termici che avvengono tra la parete interiore ed esteriore, per questo è sconsigliabile aggiungere cemento, bitume o resine all'impasto.

I rivestimenti che troviamo impiegati oggi e nel passato sono:

- Impasto di fango
- Impasto di fango con aggiunta di paglia
- Impasto di fango con aggiunta di calce < 5%
- Impasto di calce e sabbia

A queste ricette base bisogna aggiungere tutte le particolarità regionali e culturali osservate nei vari ambienti e nei paragrafi precedenti. Infatti, è attestato l'utilizzo anche di peli di animale, cenere, latte di cactus, escrementi animali, etc (Houben & Guillard 1989, 1994, 2006).

⁶⁶ Le murature in terra come quelle in legno sono definite in materiale vivo perché compiono scambi con l'ambiente soprattutto a livello di umidità, attraverso gli sbalzi di temperatura.

Durante il workshop si sono creati impasti differenti per le prove di rivestimento, cambiando la concentrazione di paglia e sabbia. Prima di tutto è stata setacciata la paglia in maniera da ottenere una parte molto fine da miscelare con la terra e in seguito è stata setacciata la terra.

In questo caso l'aggiunta di acqua deve essere ottimale, poiché non può essere troppa altrimenti si otterrebbe un impasto liquido che cola e neanche poca perché non permetterebbe la stesura del rivestimento.

Ognuno dei partecipanti ha creato quattro tipi di rivestimento differenti e li ha applicati su una tavola di fibre, in precedenza bagnata (Fig.10.11). Nel caso delle murature in terra l'applicazione del rivestimento avviene quando le murature presentano ancora una certa umidità.



Fig. 10.11– In queste due foto si vedono l'applicazione del rivestimento a destra e i quattro distinti impasti stesi a sinistra.

10.4 - Risultato delle prove qualitative su alcuni campioni della ricerca

Per comprendere meglio i test e approfondire i dati raccolti è stato utile eseguire alcune delle prove descritte sopra anche sul materiale raccolto per questo lavoro.

Sono stati presi due campioni di materiale, provenienti dal sito archeologico di *Tell Halula*, due dal sito archeologico di *Yumuktepe* e uno da *Tell Tuqan*. Il materiale, in precedenza seccato in stufe, è stato frantumato tramite pestello in agata e raccolto in contenitori di plastica (Tav. 10.1).

Una volta polverizzato il materiale e setacciato per ottenere la parte più fine, le terre sono state miscelate con acqua per compiere le prove di:

- Resistenza a secco: tramite osservazione della pasticca ottenuta
- Prova di consistenza: tramite osservazione del cordone prodotto
- Prova di coesione (test di Ribbon): osservazione del nastro ottenuto
- Prova di sedimentazione: osservazione della stratificazione in acqua dei componenti
- Prova di ritrazione: manipolazione della pallina per osservare il comportamento della terra

I risultati ottenuti hanno permesso di classificare le terre a livello granulometrico, confermando i dati provenienti dall'analisi granulometrica effettuata in laboratorio.

TH01: Terra del prelievo di muratura, colorazione Munsell 10YR 7/3 (*very pale brown*) è stato ipotizzato si possa trattare di un frammento di *tauf/pisé*.

Com'è possibile osservare dalle immagini (Tav.10.2) il materiale non è dei migliori, e si presenta come una terra mediamente sabbiosa, con una bassa percentuale di argilla tanto da assomigliare di più a un limo sabbioso. Se si

comparano i risultati con quelli ottenuti dall'altro campione TH20 essere valida l'ipotesi di muratura in *tauf/pisé*.

TH20: Terra del rivestimento del muro struttura “*iwan*” (*porche*), colorazione Munsell 7.5YR 7/3 (*pink*). Questo campione dai risultati ottenuti è apparso come la terra migliore per costruire, mostrando una buona consistenza e coesione con un cordone e nastro che hanno raggiunto i 20/22 cm, una resistenza a secco ottimale con una pasticca secca che non spolvera e si presenta compatta e resistente e una buona ritrazione visto il buon comportamento al rimodellamento (Tav.10.3).

La terra ha una buona plasticità ed è composta da una buona percentuale di argilla.

YT09: Terra dell'impasto del campione di muratura del bronzo, colorazione Munsell 5YR 5/2 (*reddish gray*). Il campione ha mostrato una buona consistenza e coesione e una minor resistenza a secco, evidenziando un buon livello di sfarinatura che indicherebbe una terra più sabbiosa (Tav.10.4). In generale la terra è di buona qualità presentandosi come un limo argilloso con buona percentuale di sabbia.

YT20: Terra del prelievo di mattone crudo di periodo calcolitico, colorazione Munsell 10YR 6/3 (*pale brown*). Questo prelievo assomiglia molto al campione precedente con una matrice più limosa e meno argillosa con presenza di meno sabbia (Tav.10.5). Comparando il campione con l'altro esaminato, questo presenta una plasticità maggiore, causata anche dalla quantità minore di sabbia, e quindi migliori qualità.

TT31: Terra del prelievo di mattone crudo di periodo persiano, colorazione Munsell 10YR 6/1 (*gray*). Le prove compiute su questo campione hanno confermato le caratteristiche della terra, visibili anche a occhio nudo, infatti, la terra ha una matrice di tipo limoso-sabbiosa con una percentuale bassa di argilla (Tav.10.6).

Visto la natura artificiale delle terre esaminate, mi è sembrato abbastanza inutile fare le prove su più campioni, non essendo terre originarie, ma impasti in cui sono già avvenuti cambiamenti prodotti dall'uomo. In generale, sotto consiglio di esperti nel settore architettonico, mi è stato proposto di compiere alcuni test sui materiali per avere un quadro comparativo generale fra le terre. Oltremodo, molti dei campioni prelevati erano già stati analizzati e quindi il materiale a disposizione era insufficiente per le prove di qualità.

Nell'insieme le terre di *Tell Halula* e *Yumuktepe* non sembrano differenziarsi molto, anche se le prime presentano una matrice argillosa e le seconde uno scheletro più sabbioso. Come accennato in precedenza, la presenza di sabbia potrebbe essere il risultato di un'aggiunta intenzionale impiegata per evitare problemi di fessurazione durante l'essicamento, d'altronde l'assenza d'impronte vegetali potrebbe confermare questa ipotesi. A differenza della terra di *Tell Tuqan* caratterizzata da una matrice più limosa che argillosa, le altre terre sono costituite da una matrice con più argilla.

10.5 – Risultati delle prove fisiche sui campioni sperimentali di *Yumuktepe*

Nel sito archeologico di *Yumuktepe*, per proteggere i muri tra una campagna di scavo a un'altra, è stata adottata dal direttore di scavi una soluzione conservativa che impiega mattoni crudi fabbricati con la terra di risulta dello scavo archeologico per la copertura delle creste dei muri. Questo intervento di conservazione, con la produzione di mattoni sperimentali, ha permesso un approfondimento della materia attraverso lo studio particolare della degradazione dei mattoni nel tempo e lo studio sulla relazione tra la diversa ricetta degli impasti adottati e le loro caratteristiche.

Nella campagna di scavo del 2011 durante la produzione degli *adobes* sperimentali sono stati fabbricati tre mattoni distinti: YTZ, YTX e YTY.

YTZ - Mattone sperimentale impiegato nella copertura. Impasto: terra e paglia (circa 50%) miscelati con colla e acqua (Fig. 10.12).

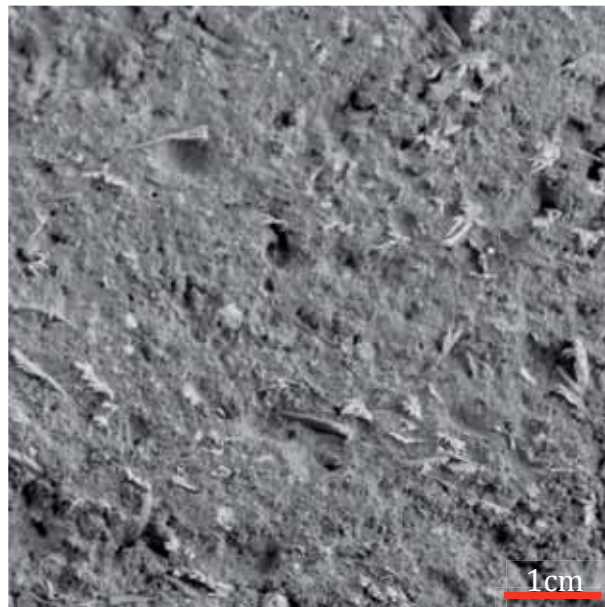


Fig. 10.12 – Foto macroscòpica campione YTZ.

YTX – Mattone sperimentale. Impasto: terra e paglia (circa 30%) miscelati in acqua (Fig.10.13).

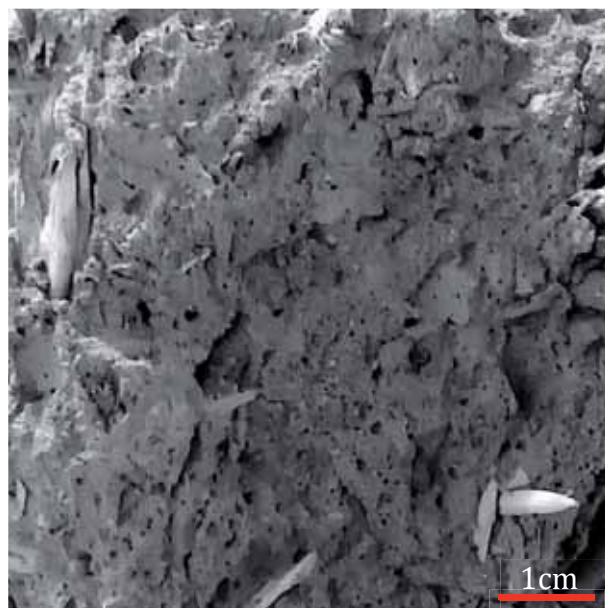


Fig. 10.13 – Foto macroscòpica campione YTX.

YTY - Mattone sperimentale. Impasto: terra e paglia (circa 10%) miscelati in acqua (Fig.10.14).

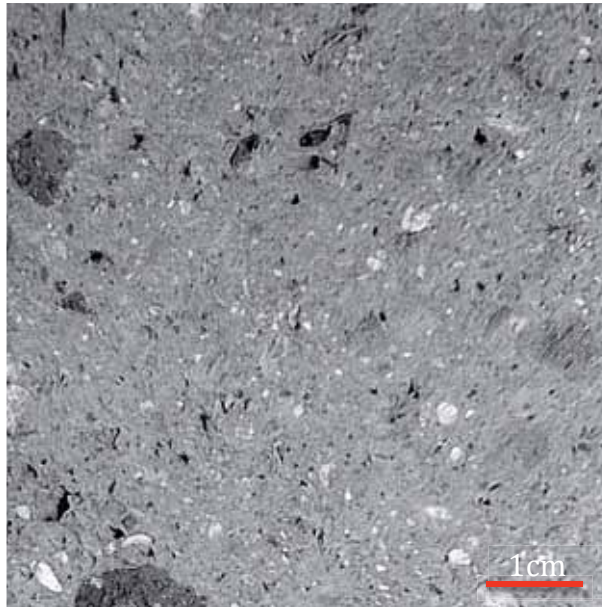


Fig. 10.14 – Foto macroscòpica campione YTY.

Poiché la terra utilizzata per la loro produzione è la stessa, mi sono limitata allo studio delle prove fisiche per comprendere i differenti comportamenti dei materiali dipendentemente dalla quantità di smagrante all'interno dell'impasto.

I risultati ottenuti dai campioni sperimentali sono interessanti visto che i dati raccolti permettono di formulare alcune ipotesi legate al degrado delle strutture elevate in terra e alla loro fabbricazione (Fig. 10.15). Il dato più rilevante riguarda il campione YTW, prelievo di mattone sperimentale raccolto dopo due anni dalla sua produzione. Il campione è stato fabbricato nello stesso periodo del campione YTZ, però a differenza di quest'ultimo conservato in laboratorio fino al momento delle prove in laboratorio, il prelievo YTW è rimasto sul sito archeologico con la funzione di copertura del muro per due anni sotto l'azione di degrado degli agenti atmosferici. Il valore ottenuto, di oltre $\frac{1}{4}$ più basso, dimostra come questa tipologia di materiale

perda molta durezza e sia meno resistente senza una buona protezione della superficie.

Una notevole differenza riguarda i mattoni YTY, YTX e YTZ, fabbricati con la stessa terra, ma con piccole varianti durante la miscelazione degli impasti.

Campione	Superficie (S)	Carica (Q)	Resistenza in Kg/cm² (Q/S)
YTZ	12,95	313	24,16
YTX	18,06	477	26,41
YTY	14,06	559	39,75*
YTW	27,76	277	9,97

Fig. 10.15 – Tabella con risultati ottenuti attraverso la resistenza a compressione

Le modifiche, a livello di fabbricazione, consistono: nella selezione della terra più fina con aggiunta minore di elementi vegetali (YTX), nella maggiore compattazione e assenza di colla nell'acqua (YTY) a differenza dei mattoni prodotti in serie per la copertura finale dello scavo (YTZ). A livello di resistenza a compressione il mattone utilizzato per la copertura, nonostante l'aggiunta di colla nell'acqua di miscelazione, non presenta una maggiore durezza, ma al contrario mostra il valore di resistenza più basso. Mentre è interessante notare che il campione YTY, subendo maggiore compattazione e avendo una bassa percentuale di paglia, presenti il dato migliore.

Il valore indica una buona struttura compatta che riesce a subire il peso di un grosso carico. Si può osservare che tra il campione con colla YTZ e quello senza YTX la differenza sia irrisoria, nonostante ci siano state delle lievi modifiche nella fabbricazione dei mattoni.

In una visione conservativa sarebbe interessante approfondire la ricerca sperimentale raccogliendo un campionamento più vasto, di differenti livelli conservativi (1,2,3 anni) che presentino anche soluzioni di tipo conservativo differenti (rivestimento, copertura, etc.).

10.6 – Stato di conservazione e problemi di manutenzione

L'architettura in terra, come citato nel capitolo iniziale, è un patrimonio culturale importante che va conservato per le generazioni future. Purtroppo l'origine stessa del materiale non aiuta essendo questo facilmente degradabile per colpa di diversi fattori.

Oggi, grazie al lavoro di alcuni specialisti nel settore (Hughes 1983, 1988; Horne 1993; Warren 1999; Dekhordi 2004; Bagliani 2009; Cooke 2002, 2004, 2010; Bendakir 2000, 2008; Sadozai 2012, etc.) sono stati individuate le cause maggiori del degrado delle strutture in terra:

- Agenti atmosferici: pioggia e vento sono fattori che causano una forte erosione delle superfici, soprattutto se si presentano in maniera ciclica possono causare la perdita di materiale. L'acqua si per risalita capillare che per percolamento può provocare delle fessurazioni nella struttura. In situazioni dove le temperature scendono oltre gli zero gradi, si possono creare danni ai micropori della struttura particolare delle.
- Agenti antropici: l'uomo causa l'usura di queste strutture e la mancata manutenzione delle edifici può causare sia della perdita di materiale, ma anche un cedimento strutturale. È pratica comune, in molti paesi la distruzione delle strutture antiche per il riutilizzo della materia prima. Oltretutto i visitatori degli insediamenti archeologici con strutture in terra, possono causare fenomeni di deposito e accumulamento che danneggiano le superfici esterne creando una lieve erosione. In più ultimamente si è potuto assistere anche alla distruzione di alcuni insediamenti archeologici a causa di guerre o conflitti civili interni.
- Terremoti: purtroppo come si è osservato nella Cittadella di Bam in Iran (2003) l'azione del terremoto su queste strutture può essere fatale e distruggere un buon numero di edifici (Fig.10.16).
- Agenti animali: quadrupedi, volatili e insetti possono causare il degrado delle strutture attraverso i liquidi organici e la produzione di nidi nelle fessure delle

strutture. Gli animali sono attratti dagli insediamenti in terra abbandonati perché le buone qualità igrometriche delle strutture rendono ottimali le temperature.

- Agenti vegetali: il substrato terreno con cui sono costruite le strutture è un ottimo substrato per la crescita della vegetazione, soprattutto nel caso di insediamenti abbandonati. Se, in ambienti umidi, la presenza della vegetazione non venisse bloccata in tempi rapidi, si assisterebbe velocemente alla creazione di un microclima che in poco tempo causerebbe una deteriorazione delle strutture.



Fig. 10.16 – Città medievale di Bam in Iran dopo il terremoto del 2003.

Per questi fattori sarebbe il caso che assieme al progetto di scavo archeologico ci fosse in parallelo una pianificazione di manutenzione, restauro e valorizzazione dell'insediamento archeologico. Le soluzioni più facilmente applicabili oggi consistono nella costruzione di coperture che proteggano le strutture nel tempo com'è possibile, per esempio, vedere a *Çatal Hüyük*, *Mari* e *Alalakh* (Fig.10.17), e nell'applicazione di uno strato di sacrificio che protegga le superfici come a *Mari* e *Tell Mardikh/Ebla*.

In questo caso lo studio della composizione mineralogica dei materiali è utile per la produzione di un prodotto che sia simile all'originale per non creare problemi di

alterazione chimica nel tempo. Per questo, il metodo di consolidamento delle strutture con prodotti chimici, in archeologia, non è del tutto raccomandabile essendo queste di natura molto degradabile, e si vede maggiormente impiegato in architettura monumentale. Un'altra pratica comune nella conservazione è la copertura delle strutture con mattoni sperimentali e intonaci, per esempio, nei siti precolombiani di Trujillo (Perù) e a *Tell Mardikh/Ebla*.

Questa tipologia d'intervento rischia di creare un falso archeologico della visione dell'insediamento e della reale distribuzione spaziale del sito.

Fra queste soluzioni, personalmente preferisco la soluzione adottata a *Çatal Hüyük* dove è possibile osservare l'originale, grazie alla copertura di protezione, e



Fig. 10.17 – Le due coperture costruite nel sito archeologico di *Çatal Hüyük*. A sinistra la prima soluzione degli scavi vecchi e a destra la soluzione più moderna adottata per gli scavi recenti.

allo stesso tempo comprendere meglio l'architettura grazie alla ricostruzione di un'abitazione neolitica (Fig.10.18). Essendo, in questo caso, istituito il parco archeologico è possibile capire l'evoluzione del sito e dello scavo grazie alla sala museale allestita con pannelli all'interno del sito.

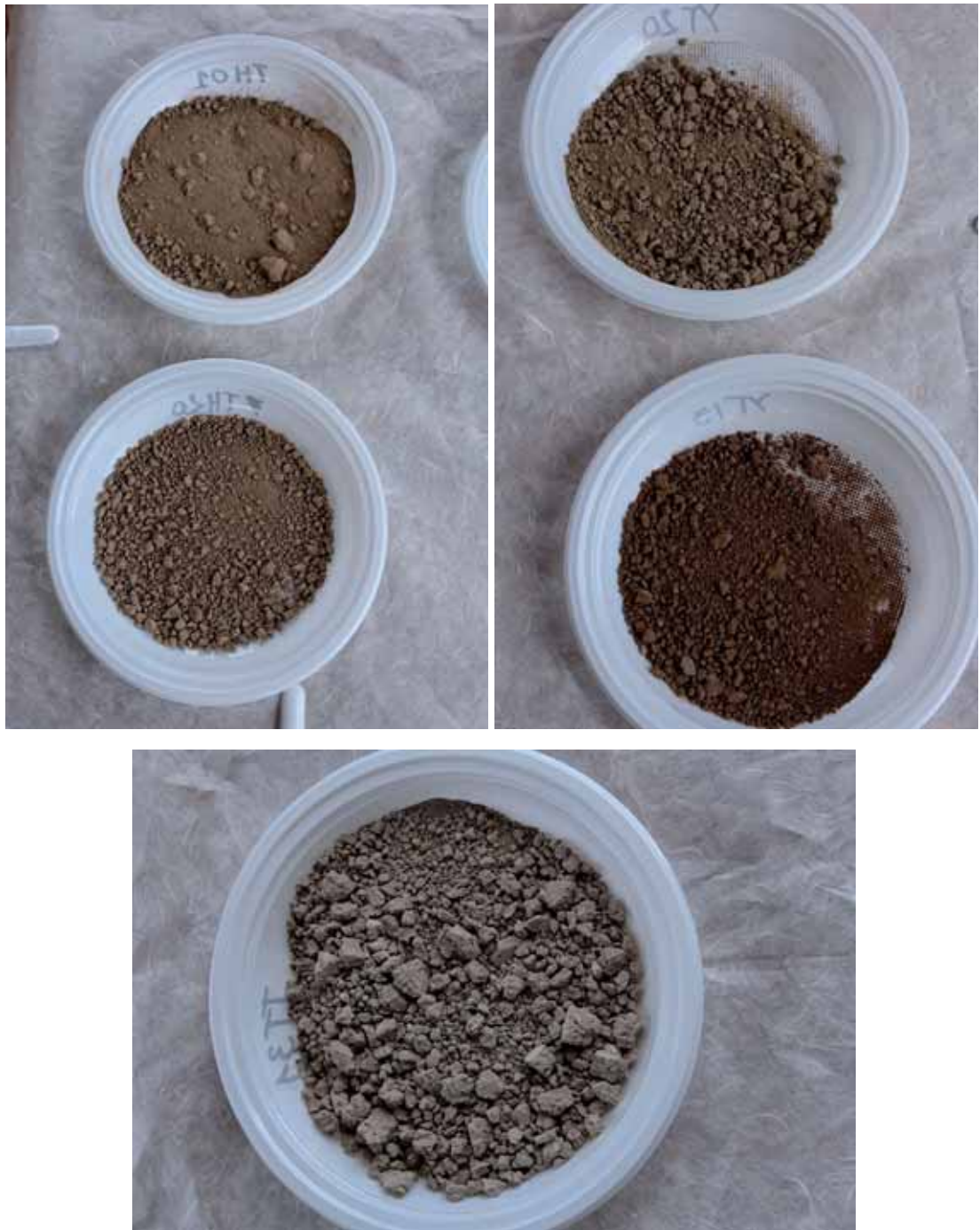


Tavola 10.1 – In queste foto si vedono in alto a sinistra i campioni TH01 e TH20 raccolti a *Tell Halula*, a destra i campioni YT13 e YT20 provenienti da *Yumuktepe* e in basso al centro il campione TT31 proveniente da *Tell Tuqan*.

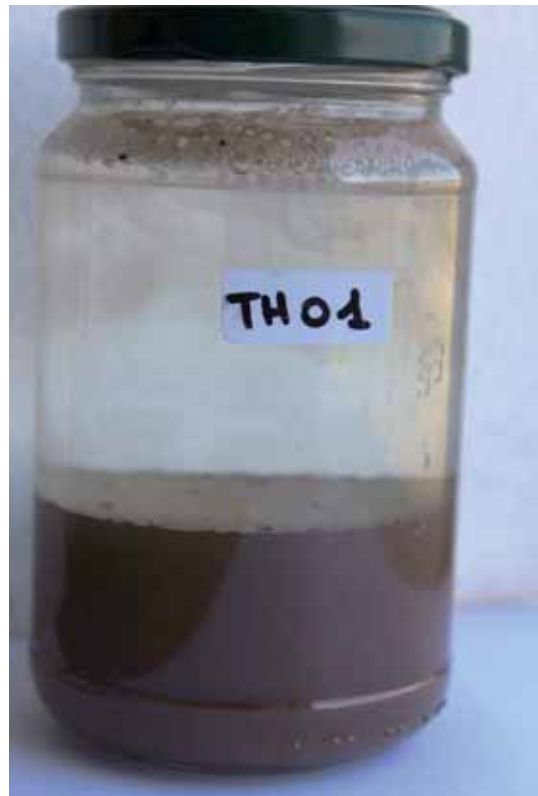


Tavola 10.2 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TH01. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, ritrazione, coesione e sedimentazione.



Tavola 10.3 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TH20. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, coesione, resistenza a secco e sedimentazione.



Tavola 10.4 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione YT09. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, resistenza a secco, ritrazione e coesione.



Tavola 10.5 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione Y20. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, ritrazione e sedimentazione. Nella foto in basso a sinistra si osserva il confronto tra le due pasticche ottenute dalle terre di *Yumuktepe*.

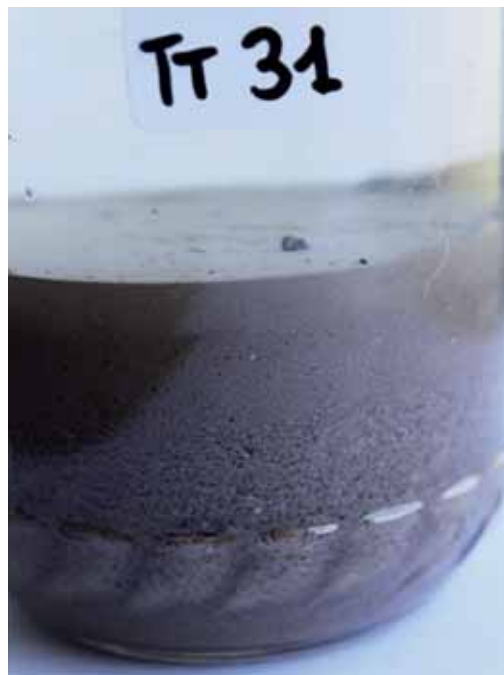


Tavola 10.6 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TT31. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, sedimentazione, resistenza a secco e ritrazione.

Conclusioni

Come dimostrano i risultati delle analisi, i primi costruttori neolitici della Valle dell'Eufrate di *Tell Halula*, quelli neolitici anatolici di *Yumuktepe* così come i protostorici abitanti delle steppe siriane di Tell Tuqan manipolarono la materia prima locale per costruire i propri edifici in terra cruda.

Pensando alla differente posizione geografica, al diverso contesto cronologico, alle differenti culture e condizioni climatiche è possibile osservare delle similitudini nella tecnica costruttiva.

Dallo studio macroscopico dei manufatti è costante l'impiego di fibre vegetali per migliorare la qualità delle terre di origine. Anche nel sito di Yumuktepe dove i costruttori hanno a disposizione una terra meno plastica e più sabbiosa hanno adottato l'utilizzo di fibre organiche per migliorare le caratteristiche di alcune terre caratterizzate da una matrice più calcareo argillosa o come elemento strutturale negli intonaci e nelle coperture.

Lo studio comparato dimostra come ogni cultura abbia dato origine ad una propria tradizione con soluzioni che rispecchiano le condizioni locali.

Ad esempio, i dati architettonici raccolti dai vari siti archeologici preneolitici del Vicino Oriente mostrano l'evoluzione dalla pianta circolare monocellulare della casa a pluricellulare rettangolare. Questo passaggio culturale è presente anche nel sito di *Yumuktepe* nonostante si tratti di una comunità migrante di cultura neolitica.

Al contrario nella comunità preneolitica di *Tell Halula* non si assiste all'evoluzione architettonica dalla pianta circolare a quella rettangolare, ma fin dalle prime testimonianze è attestato l'utilizzo della pianta pluricellulare rettangolare. Questo può indicare che la tecnica del costruire in terra non sia un sapere trasmesso da una cultura ad un'altra, ma piuttosto una tradizione tipicamente locale che si evolve dipendentemente dalle necessità e dalle risorse a disposizione. Sicuramente è confermata una trasmissione del sapere da una generazione all'altra, come

dimostrano gli studi etnografici, però dai dati archeologici non appare uno scambio del sapere, come invece avviene per i manufatti mobili grazie al commercio. Credo che solo in tempi più recenti, con lo scambio maggiore di merci e con la presenza di maestri artigiani specializzati in architettura, siano presenti influenze esterne nella costruzione di palazzi e templi.

L'unico insediamento che può presentare certe caratteristiche è *Tell Tuqan*, ma la parte indagata con le nuove metodologie stratigrafiche è ancora poca per avere un quadro generale.

Le analisi della composizione generale mineralogica sono state fondamentali per determinare in tutti e tre insediamenti l'approvvigionamento locale delle terre di origine. In nessuno dei tre è dimostrato l'impiego di terre particolari, con elementi chimici che non siano riscontrabili nei terreni delle zone circostanti.

Le terre con migliore qualità sono quelle di *Yumuktepe*, poiché presentano un alto contenuto in calcite e sono caratterizzata da argille poco espansive (caolinite e illite). Anche le terre utilizzate a *Tell Halula* sono caratterizzate da argille poco espansive però è stato osservato sia nelle analisi diffrattometriche che dallo studio petrografico la presenza di cristalli di gesso in posizione secondaria. Questo fattore indica la presenza di sali di gesso formatesi in seguito, che possono creare forti problemi di conservazione alle strutture architettoniche. Le terre impiegate a *Tell Tuqan* presentano in bassa percentuale anche un'argilla di tipo espansivo come la smectite, che spiegherebbe il buon contenuto in fibra organica utilizzato per evitare la fessurazione durante l'essiccamento.

Le diverse proprietà mineralogiche delle terre sono state elaborate dai costruttori, attraverso una diversa scelta granulometrica negli impasti. E' stato rilevato sia nei manufatti provenienti da *Yumuktepe* che da *Tell Tuqan* un adattamento della ricetta dipendentemente dalle terre di partenza.

In entrambi i casi, sono stati documentati mattoni caratterizzati da terre a matrice argillosa, che presentano un'aggiunta intenzionale di fibre vegetali negli impasti, al contrario nelle terre caratterizzate da matrice sabbiosa, non sono presenti impronte vegetali.

L'utilizzo di aggiungere calce o carbonato di calcio proveniente dalla macinazione di calcari o conchiglie per fabbricare gli intonaci decorativi è presente in tutti e tre gli insediamenti. Sembra che i costruttori avessero cognizione della resistenza maggiore dei mattoni con colorazione biancastra, caratterizzati da un'alta percentuale di calcite e calce.

Soprattutto nel sito di *Tell Halula* questa tipologia di mattone è impiegata solo in due casi specifici, nella fabbricazione delle braccia del forno principale e negli stipiti delle porte. A *Yumuktepe* non è presente un utilizzo specifico di questa tipologia di mattone, ma sono presenti alcuni mattoni bianchi all'interno di murature di edifici domestici. A *Tell Tuqan* è riscontrato l'utilizzo di mattoni con colorazione omogenea grigio chiaro nelle costruzioni più recenti e soprattutto nell'unico edificio pubblico riconosciuto come il palazzetto persiano.

Questa tesi, senza l'approfondimento analitico con altre analisi di tipo fisico-meccaniche non sarebbe stata possibile. Infatti, grazie alle prove di resistenza effettuate su alcuni campioni provenienti dai tre insediamenti è stato possibile dimostrare che i mattoni con alta percentuale di calcite presentano una resistenza alla compressione più alta degli altri. Il numero statistico delle prove effettuate è ancora troppo basso perché affermi con certezza il dato, allo stesso tempo c'è già qualche autore che sostiene questa ipotesi (Cooke 2010; Spreafico 2012).

La porosimetria ha permesso di sperimentare una nuova tecnica di misurazione che adotta un solvente distinto dall'acqua. Visto la natura particolare del material è stato adottato il white spirit, che ha permesso la misurazione dei campioni durante le fasi di immersione nel liquido, senza causare la loro disgregazione.

Le misurazioni sperimentali di elementi a reticolo regolare, come il laterizio, hanno dimostrato che la determinazione compiuta attraverso i due liquidi riporta gli stessi valori di porosità e densità reale. Nel nostro caso, la natura più irregolare delle terre, ha dimostrato una lieve differenza causata dalla maggiore proprietà come solvente dell'acqua a scapito del white spirit che è un solvente organico.

Infatti, osservando i valori ottenuti da alcuni campioni che hanno permesso le due misurazioni, mostrano percentuali maggiori con il metodo dell'acqua. Questo dato sempre coerente ha permesso di comprendere che l'acqua entra più in profondità fino a raggiungere i micropori della struttura.

Comparando i dati ottenuti dalla misurazione con lo stesso solvente è stata rilevata un'alta percentuale di porosità in tutti i campioni. Il valore si aggira tra il 40 e 50%, mostrando una densità reale intorno a $2,71-3,3 \text{ g/cm}^3$, superando di poco, i valori riportati in altri studi che presentano i parametri ottimali per ottenere una buona costruzione in terra (Sanna & Azteni 2008). L'alta porosità dimostra una buona percentuale di aggregato presente, giustificando lo stato di conservazione dei mattoni. Ciò significa una buona permeabilità al vapore, una maggiore resistenza alle gelate e un essiccamento più rapido senza fessurazioni.

Anche la maggiore densità indica la presenza nei manufatti di una considerevole quantità di ghiaia o inerte grosso. In tutti i campioni analizzati è stata notata la relazione tra il valore di porosità e l'aspetto macroscopico, dove al diminuire della prima era visibile un aspetto più compatto e la presenza di meno aggregati minerali o vegetali. Al contrario alcuni campioni, che presentavano una maggiore concentrazione di aggregato all'interno, hanno riportato valori vicini al 50% di porosità.

Dalla determinazione della porosità è possibile ricavare anche informazioni sulla fabbricazione dei mattoni, poiché il dato più alto indica una quantità maggiore di acqua impiegata nella fabbricazione.

Il risultato della porosimetria, ottenuto dal prelievo del mattone crudo impiegato per la costruzione delle pareti sui campioni di *Tell Halula* è importante. A differenza degli altri campioni prelevati da strutture differenti (grill plan, silos e forno), che mostrano una percentuale che non supera il 45%, il mattone presenta una porosità >50%. Già dallo studio macroscopico e granulometrico era possibile notare la diversa natura e fabbricazione dei manufatti apparsa con la porosimetria. È ipotizzabile che per la produzione dei mattoni attraverso l'impiego di moduli lignei, sia utilizzato un maggior contenuto di acqua per ottenere un impasto più cremoso

utile per lo stampo. A differenza per le altre strutture dove apparentemente si osserva la presenza di mattoni, potrebbe anche trattarsi di piccole gettate, di materiale meno plastico, lavorate a mano.

Le misurazioni effettuate nel sito di *Yumuktepe* hanno permesso di stabilire che i campioni sono abbastanza omogenei poiché presentano una porosità che si aggira tra il 40-47%. I dati più interessanti provengono dalla misurazione dei cinque campioni che, avendo subito parziale cottura, hanno resistito all'immersione in acqua. In questo caso i valori sono un po' più alti con una porosità che si aggira intorno al 44-51% e una densità media reale di 2,73 g/cm³.

Anche in questo caso pare sia possibile proporre alcune ipotesi legate alla tecnica costruttiva dei prelievi delle strutture neolitiche. Il valore più alto di porosità, che indica un maggiore contenuto di acqua nella produzione dell'intonaco, è riscontrabile anche tra mattone e frammento di tauf. In questo caso è la tecnica di costruzione del tauf che prevede più acqua nella fabbricazione. Questo dato conferma l'utilizzo del termine tauf al posto di pisé per la tecnica costruttiva, presente in molti scavi preneolitici e neolitici, con cui sono indicate strutture murarie distinte da gettate di materiale compattato (Anastasio 2011). Il pisé è una tecnica definita a secco, che utilizza una bassa percentuale di acqua nell'impasto poiché la fabbricazione della muratura avviene per compattazione dei grani attraverso l'impiego di pestelli.

Mi pare di poter affermare che le testimonianze archeologiche preistoriche siano costruite con impasti di terra più umidi, applicati a mano ed infine forgiati e livellati per mezzo di altri utensili, ma escludono la presenza di casseforme lignee regolari. Minke (2010), un architetto e cattedratico esperto del settore afferma che i primi esempi di costruzioni elevate con la tecnica pisé risalgono all'impero assiro datate al 5000 a.C. Questo è un dato che andrebbe ulteriormente indagato poiché la misurazione degli stessi due campioni attraverso l'impiego del white spirit ha dato un parametro opposto, dove il mattone presenta una percentuale minimamente maggiore. Tenendo presente che la metodologia corretta è quella che utilizza l'acqua

come solvente sarebbe opportuno approfondire il dato con un nuovo campionamento e altre misurazioni.

I dati ottenuti dalle misurazioni effettuate sui campioni di *Tell Tuqan* sono pochi per poter formulare ipotesi. L'unico dato valido viene dalla comparazione tra la porosimetria e la resistenza a compressione. I due parametri sono inversamente proporzionali e quindi ad una maggiore porosità corrisponde minor resistenza e viceversa. Inoltre se a maggiore porosità s'identifica maggior contenuto di acqua nell'impasto, per valori alti di resistenza otterremo basse quantità di acqua. Per il campione di pavimentazione del Bronzo Antico IV proveniente da Tell Tuqan il dato mostra un alto valore di resistenza con un'alta percentuale di porosità. Poiché si tratta di un prelievo pavimentale è abbastanza probabile che sia stata usata una maggiore quantità di acqua nell'impasto per la messa in opera e anche un elemento indurente come la calce per aumentarne la resistenza.

La metodologia ad ampio spettro proposta in questo lavoro per ottenere più informazioni possibili che evidenzino le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale è la seguente. Per la determinazione della composizione mineralogica ho utilizzato le metodologie della Diffrazione Raggi X e della Fluorescenza Raggi X. Le due tecniche si integrano fra loro: infatti nei risultati di Tell Halula, la determinazione di fosforo nelle terre grigie è stata individuata grazie alla FRX, dato non riscontrato con la DRX. D'altra parte, la determinazione dei minerali argillosi all'interno degli impasti è riscontrabile grazie alla DRX, su polveri con aggregato orientato, e non con FRX. Inoltre le due tecniche hanno bisogno anche del supporto dell'indagine petrografica. Quest'ultima permette di vedere la struttura mineralogica dei campioni confermandone la presenza e determinando la postura primaria o secondaria dei minerali.

Grazie alla petrografia è stato possibile riscontrare la presenza di gesso nei campioni, come riempimento dei pori o di fessurazioni, interpretandolo come elemento prodotto in processi post deposizionali. Questo dato è rilevante poiché se venisse determinata in un intonaco la presenza di gesso solo attraverso la DXR,

senza la petrografia, il dato potrebbe risultare errato.

L'approfondimento metodologico con analisi di tipo fisico-meccanico ha permesso una migliore conoscenza della tecnica costruttiva e dello stato di conservazione. Come riportato precedentemente la maggiore porosità o minore resistenza suggerisce la funzione dell'elemento architettonico. Anche per quello che riguarda lo stato di conservazione, le analisi e i risultati ottenuti dal sito di *Yumuktepe*, mostrano che il materiale è facilmente degradabile se non presenta un rivestimento esterno che lo protegga dagli agenti atmosferici. Infatti trattandosi di strutture rimaste per anni sepolte, dopo un intervento di scavo sarebbe opportuno pianificare un progetto di conservazione. Personalmente proporrei l'utilizzo di uno strato di "sacrificio" sulle murature portate alla luce, realizzato con le terre di risulta dello scavo.

La situazione geopolitica della Siria ha reso impossibile ulteriori campionature che potessero verificare nuovamente i dati chiarendo alcuni dubbi e lacune presenti a tutt'oggi. Sarei gratificata nel poter continuare questa linea di ricerca approfondendo la metodologia e la conoscenza della materia in altri contesti.

Conclusiones

El estudio arqueológico y arqueométrico realizado en la presente tesis doctoral ha permitido inferir en las distintas problemáticas asociadas a los conocimientos tecnológicos de las primeras comunidades humanas en contextos de neolítico y edad del bronce del Próximo Oriente.

Como demuestran los resultados de los análisis, los primeros artesanos de neolíticos el valle del Éufrates en *Tell Halula (PPNB)*, del neolítico anatólico *Yumuktepe (PN)* y los habitantes protohistóricos de las estepas sirias de *Tell Tuqan (Edad del Bronce)*, manipulaban las materias primas locales para construir sus propios edificios en tierra.

Teniendo en cuenta la ubicación diferencial a nivel geográfico y a partir de las diferentes culturas y las condiciones climáticas, es posible observar similitudes en la técnica constructiva utilizada por estas comunidades a lo largo de más de 7 milenios.

A partir del estudio macroscópico de los adobes, se documenta una constante utilización de fibras vegetales para mejorar la calidad de la tierra original. Destaca en este sentido el yacimiento de *Yumuktepe* donde se demuestra que los artesanos tienen disponible un material menos plástico y una tierra con más arena, y que han adoptado el uso de fibras orgánicas para mejorar las características de algunos adobes caracterizados por la presencia de una tierra con una matriz de arcilla más calcárea o como un elemento estructural en los enlucidos.

De forma general, el estudio comparativo muestra que cada grupo cultural ha dado lugar a su propia tradición en la selección de las materias primas y en las formas arquitectónicas, con soluciones que nos permiten conocer las condiciones locales. Por ejemplo, los datos arquitectónicos recogidos de varios yacimientos arqueológicos neolíticos del Próximo Oriente muestran la evolución de la planta unicelular circular a la casa con planta rectangular multicelular. Este cambio cultural es también visible en el yacimiento de *Yumuktepe*, a pesar que se trata de una comunidad migrante de cultura neolítica.

Por el contrario en la comunidad neolítica de *Tell Halula* no hay transformación arquitectónica de la planta circular hacia la rectangular ya que desde los primeros registros se documenta el uso de la planta rectangular multicelular. Esto puede indicar que la técnica de construcción en la tierra no es un conocimiento transmitido de una cultura a otra, sino más bien una tradición adscrita a una zona, que evoluciona en función de las necesidades y de los recursos disponibles.

Sin duda parece que existe una transmisión de conocimientos empíricos de una generación a otra, como lo demuestran los estudios etnográficos, sin embargo, asociado a los datos arqueológicos no aparece un intercambio de conocimientos, como es en el caso de los objetos asociados al intercambio de productos. Creo que sólo en las cronologías más recientes, con el intercambio de productos y el aumento de la presencia de artesanos especializados en las técnicas arquitectónicas, hay influencias externas en la construcción de palacios y templos.

El único yacimiento que pueden tener ciertas características es *Tell Tuqan*, pero la parte está investigada con nuevas metodologías estratigráfica, es todavía poca para tener un panorama general de la situación.

Los análisis relacionados con la composición mineralógica general son fundamentales para determinar las áreas de captación y zonas de aprovisionamiento utilizadas en los tres yacimientos. En ninguno de los tres sitios se muestra el uso de tierras particulares, compuestas con elementos químicos que no se encuentren en el territorio circunstante.

En este sentido se considera que las tierras más aptas son las de *Yumuktepe*, debido a que tienen un alto contenido de calcita y se caracterizan por la presencia de arcillas poco expansivas (caolinita e illita). También las tierras utilizadas en *Tell Halula* se caracterizan por arcillas pocas expansivas, pero, en este caso, se ha observado tanto en el análisis de difracción como en el estudio petrográfico la presencia de cristales de yeso en posición secundaria. Este factor indica la presencia de sales de yeso formados durante el proceso postdeposicional, lo que puede crear fuertes problemas de conservación en las estructuras arquitectónicas. Las tierras utilizadas en *Tell Tuqan* presentan una baja proporción de arcilla expansiva como la

esmética, lo que explicaría el buen contenido de fibra orgánica utilizada para prevenir el agrietamiento durante el secado del adobe.

Las diferentes propiedades mineralógicas de las tierras han sido desarrolladas por los fabricantes, a través de una elección granulométrica diferente, de materia inerte en las mezclas. Se detectó, en las muestras procedentes de *Yumuktepe* y de *Tell Tuqan* una mezcla diferente adaptada en función de las tierras de origen. En ambos casos, han sido documentados adobes caracterizados por tierras con matriz arcillosa, que presentan un añadido intencional de fibras vegetales en la masa, por el contrario en las tierras caracterizadas con matriz arenosa, las huellas vegetales no se encuentran presentes.

El uso de añadir cal o carbonato de calcio procedente de la trituración de la piedra caliza o de conchas para fabricar enlucidos decorativos está presente en los tres yacimientos. Parece que los constructores tenían el conocimiento de la mayor resistencia de los adobes de color blanco, caracterizados por un alto porcentaje de calcita y cal.

Especialmente en el yacimiento de *Tell Halula* este tipo de adobe se utiliza solamente en dos casos específicos de la casa, en la fabricación de los brazos del horno principal y en lo estípite de la puerta. A *Yumuktepe* no está presente un uso específico de este tipo de adobe, pero hay algunos adobes blancos dentro de las paredes de los edificios domésticos.

A *Tell Tuqan* se encontró el uso del adobe con coloración homogénea gris clara, utilizado en construcciones más recientes, y especialmente en el único edificio público reconocido como el palacio persa.

Esta tesis, sin una comparación en profundidad con otros análisis asociados a las propiedades físicas y mecánicas no habría sido posible. De hecho, gracias a las pruebas de resistencia realizadas con algunas muestras de los tres yacimientos, ha sido posible demostrar que los adobes con un alto porcentaje en calcita tienen una resistencia a la compresión superior a los demás. El número de pruebas estadísticas es todavía demasiado bajo para afirmar con certeza estos datos, si bien al mismo

tiempo, ya hay algún autor que apoya plenamente esta hipótesis (Cooke 2010; Spreafico 2012).

Para determinar la porosidad del material se utilizó una nueva técnica de medición que utiliza un disolvente diferente del agua. Dada la especial naturaleza del material se ha trabajado con otro disolvente llamado *white spirit*, lo que permitió la medición de las muestras durante la inmersión en el líquido, sin provocar su desintegración.

Las mediciones experimentales de elementos con una estructura regular, tales como el ladrillo, han demostrado que la determinación realizada a través de los dos líquidos muestra los mismos valores de porosidad y densidad real. En nuestro caso, el carácter más irregular de la estructura de la tierra, ha demostrado una ligera diferencia entre los datos asociados a las propiedades disolventes del agua que interactúan con la estructura de la arcilla, en relación al *white spirit* que es un disolvente orgánico.

De hecho, mirando los valores obtenidos a partir de algunas muestras procedentes de las dos mediciones, se evidencia el porcentaje más alto con el método del agua. Este dato de resultado fijo nos ha permitido entender que el agua entra más profundamente en la estructura, hasta llegar a los microporos.

Mediante la comparación de los datos obtenidos de la medición con el mismo disolvente hemos detectado un alto porcentaje de porosidad en todas las muestras. El valor está entre 40 y 50%, mostrando una densidad real de alrededor de 2,71 a 3,3 g / cm³, no subiendo mucho, de los valores recogidos en otros estudios que presentan los parámetros óptimos para obtener una buena construcción de tierra (Sanna & Atzeni 2008). La alta porosidad muestra un buen porcentaje de agregados añadidos, lo que justifica el buen estado de conservación de los adobes. Esto significa una buena permeabilidad al vapor de agua, una mayor resistencia a las heladas y un secado más rápido y sin grietas.

La mayor densidad en los adobes indica también la presencia de una considerable cantidad de grava o árido grueso. En todas las muestras analizadas se observó una relación entre el valor de la porosidad y el aspecto macroscópico, donde a la disminución de la primera se podía ver un aspecto más compacto de la estructura así

como presencia de menos agregados mineral o vegetal. Por el contrario algunas muestras, que tenía una mayor concentración de agregado vegetales en la masa, han presentado valores cercanos a 50% de porosidad.

A partir de la determinación de la porosidad es posible obtener también información sobre la fabricación de los adobes, porque un porcentaje más alto indica una mayor cantidad de agua empleada en la fabricación.

El resultado de la porosimetría obtenida del muestreo de adobe utilizado para la construcción de las paredes en las muestras de *Tell Halula* es importante. A diferencia de otras muestras procedentes de las diferentes estructuras (*grill plan*, silos y horno), que muestran un porcentaje que no excede el 45%, el adobe tiene una porosidad >50%. Ya en el estudio de tamaño macroscópico y granulométrico era posible notar la naturaleza diferente y la fabricación de artefactos que aparecían con la porosidad. Cabe pensar que para la producción de los adobes, mediante el uso de módulos de madera, se utiliza un mayor contenido de agua para obtener una mezcla más blanda y útil para el molde. A diferencia de las otras estructuras donde aparentemente se observa la presencia del adobe, estas podrían estar construidas por pequeña colada de menos material plástico, trabajado a mano.

Las mediciones en el yacimiento de *Yumuktepe* han establecido que las muestras son bastante homogéneas, ya que tienen una porosidad que está entre 40-47%. Los datos más interesantes proceden de las mediciones de las cinco muestras que se han sometido a cocción parcial y que han resistido a la inmersión en agua.

En este caso los valores son un poco más altos con una porosidad que es de alrededor de 44-51% y una densidad media de 2,73 g/cm³. Incluso en este caso parece posible proponer una serie de hipótesis relacionadas con la técnica de construcción de las muestras tomadas de las estructuras neolíticas. El valor más alto de la porosidad, lo que indica un mayor contenido de agua en la producción del enlucido, también se encuentra en el adobe y en el fragmento de *tauf*. En este caso es la técnica de la construcción del *tauf* la que proporciona más agua en la fabricación.

Este dato confirma el uso del término *tauf* en lugar de *pisé* para esta técnica de construcción, que se encuentra en muchas excavaciones neolíticas, que están

construidas con paredes de distinto material compactado (Anastasio 2011). El pisé es pues una técnica a seco que utiliza un bajo porcentaje de agua en la mezcla porque la fabricación de la mampostería se lleva a cabo con la compactación de los granos a través de la utilización de pisones.

Creo que puedo decir que la evidencia arqueológica prehistórica construida con dicho método utiliza mezclas de tierra húmeda, aplicados a mano y, posteriormente formadas y suavizadas por otras herramientas, pero excluye la presencia de un encofrado regular de madera. Minke (2010), un experto arquitecto y catedrático dice que los primeros ejemplos de edificios realizados con reconocida la técnica pisé, aparecen en el imperio asirio que se data de 5000 a.C. Este es un asunto que debe investigarse más a fondo debido a que la medición de las mismas dos muestras, mediante el uso de *white spirit* ha dado un parámetro opuesto, donde el adobe tiene un porcentaje levemente más alto que el otro. Teniendo en cuenta que la metodología reconocida es la que utiliza el agua como disolvente, sería apropiado profundizar en estos datos con un nuevo muestreo y con otras mediciones.

Los datos obtenidos de las mediciones realizadas en las muestras de *Tell Tuqan* son pocas para hacer suposiciones. El único dato válido es de la comparación entre la porosimetría y la resistencia a la compresión. Los dos parámetros son inversamente proporcionales, y luego a una porosidad más alta le corresponde menor resistencia y viceversa. Además, si una porosidad más alta se identifica con mayor contenido de agua en la masa, los valores altos de resistencia obtendrán bajas cantidades de agua. Con la muestra del pavimento de la Edad de Bronce IV de *Tell Tuqan* se documenta un alto valor de resistencia con un alto porcentaje de porosidad. Dado que es un fragmento de pavimento, es muy probable que se utilizara una mayor cantidad de agua en la mezcla para su aplicación y también un elemento de endurecimiento tal como la cal para aumentar la resistencia.

La metodología de amplio espectro propuesto en este documento con el fin de obtener más información resaltando las propiedades físicas y mecánicas del material es el siguiente aspecto a destacar. Para determinar la composición mineralógica he

utilizado los análisis de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X. Las dos técnicas se complementan entre ellas: de hecho, en los resultados de *Tell Halula*, la determinación de fósforo, en las tierras de coloración gris, ha sido identificado gracias a la FRX, ya que no se había podido determinar con la DRX. Por otro lado, la determinación de los minerales de arcilla en el interior de las mezclas se encontró debido a DRX, de polvos con agregado orientado, y no con la FRX. Por otra parte, las dos técnicas también necesitan el apoyo petrográfico. Este último permite ver la estructura de las muestras mineralógicas confirmando la presencia de los minerales y determinando su posición primaria o secundaria.

Gracias a la petrografía se ha podido observar la presencia de yeso en las muestras de *Tell Halula*, situada en los poros o grietas y que ha sido interpretado como un elemento asociado a los procesos de deposición secundaria. Este resultado es importante porque si se hubiera determinado la presencia de yeso sólo a través de DXR, sin la petrografía, los datos podrían estar equivocados, sobre todo por la muestras de enlucidos.

La metodología del estudio con el análisis físico-mecánicas ha permitido una mejor comprensión de la técnica de construcción y del estado de conservación de la arquitectura en tierra. Como se informó anteriormente la mayor porosidad o la menor resistencia pueden indicar la función del elemento arquitectónico. También en lo que concierne al estado de conservación, los análisis y los resultados obtenidos desde el yacimiento de *Yumuktepe*, muestran que el material es fácilmente degradables si no presenta un revestimiento exterior que lo proteja de los agentes atmosféricos. De hecho se trata de estructuras que han permanecido enterradas durante años, después de una intervención y excavación sería apropiado añadir la planificación de un proyecto de conservación. Personalmente propongo el uso de una capa de "sacrificio" en las estructuras excavadas, hecho con las tierras procedentes de las mismas excavaciones. Esta solución es la menos costosa y permite una fácil aplicabilidad en cada lugar.

La situación geopolítica en Siria ha impedido la realización de un nuevo muestreo que podría haber verificado los datos nuevos y aclarar las dudas y algunas lagunas que han salido a lo largo de este trabajo. Estaría satisfecha de poder continuar esta línea de investigación profundizando la metodología y el conocimiento de la arquitectura en tierra en otros contextos.

Riassunto

Questo lavoro di ricerca si centra sullo studio dell'architettura in terra in preistoria e protostoria (Neolitico e Età del Bronzo e Ferro) nel Vicino Oriente. La necessità di studiare uno dei materiali più abbondanti nella documentazione archeologica, com'è la terra, sotto forma di mattone crudo, tauf o pisé, ha permesso di approfondire un programma analitico complesso che si è potuto applicare in tre siti archeologici situati in Siria (*Tell Halula* e *Tell Tuqan*) e in Turchia (*Yumuktepe*).

Questi tre insediamenti presentano una cronologia distinta che ha permesso di caratterizzare e comprendere la tecnica della produzione del mattone crudo e dei processi di acquisizione della materia prima, il materiale e il sapere tecnologico associato a la costruzione di differenti contesti come l'ambito domestico e il pubblico.

L'introduzione delle indagini archeometriche in questo campo, è una linea di investigazione nuova dove l'assenza di una metodologia comune non ha permesso la realizzazione di studi comparativi tra dati provenienti da scavi archeologici differenti e con cronologia diversa.

Per questo, in questo lavoro, sono stati comprati i tre siti archeologici seguendo la stessa proposta metodologica che si è centrata nella realizzazione di analisi chimico-fisiche come la DXR, FRX, petrografia e granulometria. Queste analisi sono le più utilizzate per caratterizzare il materiale terra, e sono avvaliate con altre prove fisiche come la determinazione della porosità, densità apparente e determinazione della resistenza a compressione. La natura strutturale del materiale ha indirizzato le analisi in questa direzione. I campioni sono stati prelevati da distinte strutture domestiche nel caso di Tell Halula (21 campioni) tra grill plan, silos costruiti, forni, nicchie, canalizzazione, mattoni crudi e intonaci. Nel caso di Yumuktepe (17 campioni) e Tell Tuqan (5 campioni) frammenti di mattone crudo prelevato dalle ditinte fasi di occupazione riconosciute, livello di pavimentazione e intonaco. I risultati hanno permesso di avvalorare l'ipotesi di un approvvigionamento locale della materia

prima che permetterà di identificare aree di captazione e di approvvigionamento associate alla gestione e uso del territorio da parte delle comunità studiate.

Le prove fisiche hanno determinato la differenza di contenuto di acqua presente nei campioni durante il processo di fabbricazione dei mattoni crudi. Tutti i campioni mostrano calcite e quarzo come minerali maggioritari e altri, come feldspati e mica, come minerali secondari.

Questa diversità fra i risultati permette di identificare strategie diverse in funzione dell'elemento costruito. Anche A livello cronologico si osserva che ogni soluzione architettonica proviene da una profonda tradizione locale e difficilmente proviene da un sapere di nuova acquisizione se non al sorgere della manodopera specializzata. Questa ricerca ha permesso di conoscere e approfondire la tecnica della costruzione in terra cruda, seguendo un protocollo sperimentale che ha come obiettivo complementare lo studio dei processi costruttivi e l'approccio con pratiche di conservazione e restauro degli elementi prodotti con la terra cruda.

Resumen

La presente tesis doctoral se centra en el estudio de la arquitectura en tierra en contextos de prehistoria reciente (neolítico y edad del Bronce-Hierro) del Próximo Oriente. La necesidad de trabajar con un de los restos materiales más abundantes en el registro arqueológico como es la tierra mediante el adobe, tauf o pisé, entre otros, nos ha llevado a desarrollar un programa analítico complejo que se ha aplicado a 3 yacimientos situados en Siria (Tell Halula y Tell Tuqan) y Turquía (Yumuktepe).

Los tres sitios presentan una cronología distinta que permite caracterizar y comprender la técnica de la construcción del adobe y de los procesos de adquisición de la materia primera, los materiales y los saberes tecnológicos asociados a las construcciones de contextos centrados tanto en el ámbito doméstico como en el público.

La introducción de la arqueometría en este campo es una línea de investigación nueva dónde la ausencia de una metodología común no ha permitido la realización de estudios comparativos entre datos de excavaciones distintas y cronología diversa. Por eso en este estudio se ha comparado los tres yacimientos siguiendo una misma propuesta metodológica que se centra en la realización de análisis química-física como DRX, FRX, petrografía, granulometría. Estas técnicas que son las más usadas para caracterizar los materiales se acompañan de otras pruebas de tipo físico-mecánica como la determinación de porosidad y la determinación de resistencia a través de la prueba de compresión. La naturaleza estructural del material ha llevado a validar el análisis en este sentido. Las muestras procedentes de distintas estructuras domésticas en el caso de Tell Halula (21 muestras) asociadas a grill plan, silos construidos, hornos, hornacinas, canalizaciones, adobes y enlucidos. En el caso de Yumuktepe (17 muestras) y de Tell Tuqan (5 muestra) adobes asociados a cada fase de ocupación reconocidas, suelos de ocupación y enlucidos. Los resultados han permitido evaluar la hipótesis de un aprovisionamiento local de la tierra que

permitirá identificar áreas de captación y zonas de aprovisionamiento asociadas a la gestión y uso del territorio por parte de las comunidades estudiadas.

Las pruebas físicas ha determinado la diferencia en contenido de agua presente en muestra durante el proceso de elaboración de los adobes. Todas las muestras presentan calcita y cuarzo como mineral mayoritario y otros como feldespatos y mica como minerales secundarios.

Esta diversidad de resultados permite identificar estrategias diferenciales en función del elemento construido. A nivel cronológico también se observa que cada solución arquitectónica proviene de una profunda tradición local y difícilmente procede de un saber de nueva adquisición hasta el surgimiento del artesano especialista. Este trabajo ha permitido conocer y profundizar las técnicas de construcción siguiendo un protocolo experimental que tiene como objetivo complementario incidir en los procesos constructivos e inferir en las prácticas de conservación y restauración de los elementos elaborados en tierra cruda.

Abstract

This PhD focuses the research on earth architecture in Late Prehistory (Neolithic and Bronze Age) from Near East. The need to work with one of the most abundant materials in the archaeological record such as earth transformed to mud-brick, pisé or tauf, among others, has led us to develop a complex analytical program that has been applied to 3 archaeological sites. Two of these are located in Syria (Tell Tell Halula and Tuqan) and one is located in Turkey (Yumuktepe).

All these sites have a different chronology, which allows the characterization and understanding of earth architecture technology, raw material acquisition process and technological knowledge related to structures coming from the public or private sphere.

The introduction of archaeometric analysis in this field is a new research line where the absence of an established method of investigation does not allow performing comparative studies between the archaeological data and chronology.

Therefore, in this study three sites were compared following the same methodological approach, which focuses on conducting chemical-physical analysis such as XRD, XRF, petrography and granulometry. These techniques are best used to characterize the materials and have been accompanied by other physical and mechanical tests such as porosity, determination and resistance determination through compression test.

The structural nature of the material has validated the analysis in the following way. Samples coming from several domestic structures at Tell Halula (21 samples) are associated to a grill plan, constructed pits, ovens, niches, channelling and plasters. At Yumuktepe (17 samples) and Tell Tuqan (5 samples) mudbricks coming from many occupational phases have been studied with the aim to characterize mudbricks, floors and plasters from each period.

The results allow the evaluation of the earth local acquisition hypothesis, specifically the catchment areas and the provisioning zones.

The physical tests have determined differences in water content during the process of making bricks. All samples show calcite and quartz as the major mineral and others like feldspar and mica as secondary minerals.

This diversity allowed the detection of differential strategies related to each constructed element. In a chronological level, it has also been shown that every architectural solution comes from a deep local tradition and hardly rises from newly acquired knowledge, until the emergence of the specialist craftsman. This work has also improved the knowledge of the ancient construction techniques identified by following an experimental protocol that has a complementary objective: to better understand construction processes and improve the conservation and restoration practices of items made in earth.

Glossario

Adobe: Termine spagnolo utilizzato in edilizia per indicare il mattone in terra essiccato al sole. L'impasto di terra, mescolata generalmente a paglia o altre fibre vegetali, è versato in forme di legno delle dimensioni del mattone che s'intende produrre. Una volta preparati i mattoni sono stoccati e lasciati essiccare al sole per periodi variabili, generalmente tra una e tre settimane.

Apparecchiatura: Termine utilizzato in architettura per indicare la disposizione di elementi architettonici che costituiscono una muratura. Generalmente si distinguono due tipi di apparecchiatura: una composta di elementi irregolari (pietre e ciottoli), l'altra più particolare composta di elementi regolari (mattoni crudi, laterizi e pietre squadrate).

Archeometria: Insieme delle indagini fisiche, chimiche, matematiche, informatiche, etc. utilizzabili nello studio dei beni storico-artistici; esse concorrono a ricostruire la storia di un manufatto rispondendo a domande su aspetti metrici, tecnologici, cronologici e fornendo inoltre informazioni di ambito sociologico, economico.

Armatura: Nella tecnologia primitiva struttura costruita in legno dove erano applicate stuoie, pelli o terra per fabbricare le pareti. Nell'architettura in terra è la parte di una struttura muraria composta di un assemblaggio di pezzi (generalmente di legno), inseriti all'interno, per donare alla stessa una maggiore resistenza. L'armatura è un assemblaggio libero, se i pezzi sono legati tra loro si parla di catena continua.

Argilla: Roccia sedimentaria clastica, nella quale abbondano silicati idrati con la caratteristica di plasticità e di capacità di assorbimento d'acqua; è costituita principalmente da minerali argillosi (illite, caolino, montmorillonite e clorite) e quarzo. L'argilla, secondo il contenuto di caolino, che ne determina le proprietà, si

suddivide in argilla grassa (<50%) e magra (>50%). Il colore va dal rossastro al giallo, al grigio scuro, in funzione del contenuto di materia organica e di pirite e dal grado di ossidazione del ferro presente. Unita all'acqua diviene plastica e lavorabile. Ha proprietà impermeabili ed è utilizzata nell'industria dei laterizi e della ceramica.

Bancata: Termine utilizzato in architettura, per indicare il pannello laterale o fiancata di una cassaforma per la costruzione del modulo in *pisé*. Per formare una cassaforma si montano due pannelli di legno, le bancate, posti parallelamente e in verticale, per mezzo di aste, traverse (chiamate chiavi) e corde. All'interno di questa cassaforma è gettato l'impasto preparato in precedenza e, una volta terminato il riempimento, prima dell'essiccamento, è smontata e rimontata affianco per la costruzione di un altro corso.

Banchette: In archeologia questo termine è utilizzato per identificare una piattaforma allungata, posta generalmente contro un muro di un ambiente.

Bauge: È una forma tradizionale di costruzione in terra presente in Europa, soprattutto in Francia e Inghilterra. Si utilizza un impasto di terra e fibre vegetali e si stende in corsi sovrapposti generalmente con l'impiego di una forca. Una volta completati alcuni corsi la superficie del muro è trattata con una particolare pala tagliente che regolarizza il profilo.

Bianco di calce: Idrossido di calce; pigmento che si ricava dalla carbonatazione dell'idrato di calce (*calce spenta*). Di antichissima origine, per secoli è stato l'unico bianco usato nella pittura murale a fresco e a tempera, per la sua eccellente stabilità e compatibilità con gli intonaci.

Calce: CaO - Ossido di calcio ottenuto per processo di calcinazione del carbonato di calcio presente nei calcari. Tale processo avviene a 800° – 1000°C in appositi forni, il calcare (carbonato di calcio = CaCO₃) si scinde in anidride carbonica e ossido di

calcio, chiamato più propriamente “calce viva”. Quest’ultima, sottoposta a idratazione, si trasforma in idrossido di calcio, o “calce spenta”. Un altro derivato è il latte di calce, usato come legante nella pittura a fresco. Costituisce uno dei leganti più antichi per preparare malte aeree e idrauliche.

Calcimetria: Determinazione del contenuto di carbonato di calcio, sotto forma di calcare o calcite, compiuto su campioni solidi in forma preferibilmente pulverulenta. È usata per la determinazione del rapporto legante/aggregato nella caratterizzazione delle malte storiche.

Calcinazione: Operazione di cottura dei materiali calcarei per ottenere la calce.

Calcite: Una delle fasi minerali cristalline del carbonato di calcio; è il principale elemento dei marmi calcitici e di molte rocce carbonatiche.

Campione: Porzione rappresentativa di un insieme da analizzare del quale si vogliono determinare composizione o proprietà. Sul campione si compie la prova estendendone poi i risultati a tutto il materiale: da ciò l’importanza che il campionamento corrisponda a un prelievo rappresentativo del materiale in esame. Il campione può essere analizzato senza alcuna preparazione o manipolazione, oppure prelevato e adattato alle specifiche esigenze analitiche.

Canalizzazione: Canale per la circolazione dell’acqua. In architettura e può essere a cielo aperto, coperta e/o sotterranea.

Capillarità: Azione esercitata dalle pareti di un solido sulla superficie di un liquido per cui il menisco di un liquido può innalzarsi o abbassarsi. La capillarità è una proprietà dei materiali porosi di assorbire acqua o altri fluidi per risalita capillare; è responsabile dei movimenti di umidità e soluzioni saline nelle murature e nei materiali lapidei.

Carbonatazione: Reazione chimica che crea un legame tra l'elemento idrogeno presente nell'idrossido di calcio e l'anidride carbonica presente nell'aria. Differenze nel processo e nel risultato finale dipendono dalla composizione della malta, dall'umidità ambientale e dal contenuto dell'acqua nell'impasto.

Catena: In architettura è utilizzato per indicare una struttura lignea continua inserita nelle murature in terra per renderle più resistenti e plastiche. La catena si distingue dall'armatura poiché è costituita da elementi non assemblati posti per lunghezza o larghezza nell'apparecchiatura di una muratura.

Cassaforma: Termine utilizzato in architettura e edilizia per indicare la struttura di legno, con misure variabili, utilizzata per la fabbricazione di strutture murarie con la tecnica del *pisé*.

Chamotte: Materiale ceramico privo di rivestimento vetroso, anche di scarto, appositamente macinato e introdotto negli impasti con funzioni di sgrassante e inerte.

Colaggio: Foggatura allo stato di sospensione acquosa mediante stampi. Una volta che lo strato consolidato ha raggiunto lo spessore desiderato, l'eccesso di materiale è rovesciato. Quando la successiva perdita di acqua ha determinato un ritiro e una consistenza idonei, l'oggetto viene tolto dalla forma.

Craquelure: Lemma francese per distinguere la *crettatura*, identificata come una screpolatura di una superficie (pittorica, argillosa, lapidea) causata da trazioni meccaniche indotte da fenomeni fisici o chimici. In base alle cause che le hanno originate si distingue in "craquelure" da invecchiamento (vedi il caso della pittura), che può potenziare l'estetica del manufatto documentandone il passaggio del tempo, o craquelure da essiccamento dovuto a una differente essiccazione del manufatto nelle sue parti (nel caso dell'essiccamento dei mattoni).

Decantazione: Procedimento impiegato per la depurazione delle argille dove avviene la separazione delle frazioni più grossolane e pesanti. La decantazione sfrutta il principio della diversa velocità di sedimentazione dei solidi in un liquido in funzione del solido stesso a parità di massa volumetrica. Isolando il materiale in sospensione dopo un certo tempo, o comunque le parti sedimentate per ultime, si ottiene un materiale depurato.

Decorazione: Operazione a finalità estetica che non influisce sulla forma dell'oggetto e nelle sue linee essenziali. Può attuarsi in qualunque fase del processo produttivo.

Diagnostica: Insieme di tecniche e di procedure manuali, strumentali e di laboratorio che consente la formulazione di un giudizio analitico in grado di definire un fenomeno o una patologia. I dati ricavabili, in generale, non possiedono un valore oggettivo e devono essere interpretati. In materia di beni culturali, la diagnostica è l'insieme delle tecniche d'indagine attraverso le quali è possibile studiare e definire i comportamenti caratteristici di un materiale.

Diffrazione a raggi X: (X-Ray Diffraction, XRD). Analisi mineralogica qualitativa o semi quantitativa di fasi mineralogiche cristalline. Utilizza la diffrazione dei raggi X, aventi lunghezze d'onda confrontabili con la distanza tra i piani cristallini, da parte dei piani reticolari della sostanza analizzata. Può essere anche una tecnica microanalitica e non fornisce risultati alla presenza di sostanze amorfe o di fasi deliquescenti.

Essiccamento: Operazione per separare, attraverso evaporazione, un liquido da un solido che lo contiene. Nella maggior parte dei casi pratici il liquido è l'acqua, ma non mancano esempi di essiccazione in cui il solido contiene un liquido di altra

natura. Si dice naturale se avviene per semplice evaporazione all'aria e forzato se condotto per mezzo di un riscaldamento a bassa temperatura.

Fluorescenza: Con questo termine è definita la proprietà di alcune sostanze di riemettere le radiazioni elettromagnetiche ricevute, in particolare di assorbire radiazioni nell'ultravioletto ed emetterla nel visibile.

Fondazione: Struttura interrata di un elemento facente parte di una costruzione. Nella maggior parte dei casi, le fondazioni sono collocate in trincee o fosse di fondazione. Possono essere realizzate in pietra, mattoni o *pisé*. La profondità della fondazione varia secondo l'altezza e la natura del terreno, essendo la parte del muro che trasmette il peso al terreno.

Foggiatura: Insieme delle operazioni necessarie a dar forma all'oggetto. La forma dell'oggetto può essere data direttamente dalle mani del foggiatore (modellazione plastica) o essere ottenuta con l'ausilio di forme (modelli, stampi). Alcuni tipi di foggatura richiedono l'ausilio di apposite macchine (tornio, pressa, trafila).

Ghiaia: Roccia sedimentaria clastica, incoerente, a elementi arrotondati aventi diametro compreso tra un minimo di 2mm e un massimo di 10cm.

Gesso: Minerale costituito da solfato di calcio (CaSO_4). La sua particolare caratteristica di ritiro e indurimento al contatto con l'aria l'ha reso un ottimo legante utilizzato, come la calce, per le malte.

Granulometria: Tecnica di determinazione delle dimensioni dei grani che formano un aggregato, eseguita generalmente per setacciatura o sedimentazione. Data la forma irregolare dei granuli, per caratterizzarne le dimensioni ci si riferisce a un diametro medio, che si fa coincidere, nel caso di particelle come sabbia e ghiaie, con la dimensione dell'apertura delle maglie del setaccio attraverso cui i granuli passano,

essendo trattenuti dal setaccio immediatamente inferiore. In genere l'analisi granulometrica si esegue in parallelo con la calcimetria.

Grassello: Legante aereo minerale parte della malta. È ottenuto dalla calce viva spenta in acqua ed è costituito da una pasta candida, cremosa, composta di circa il 50% d'idrossido di calcio (o calce idrata) e acqua. È mantenuto costantemente sotto un velo di acqua anche per degli anni per impedirne l'essiccamento e la reazione di carbonatazione.

Làdiri: Denominazione sarda del mattone crudo. Tra i diversi vocaboli che designano l'elemento *adobe* in Sardegna, questo è certamente il più noto.

Limo: Corrisponde al termine inglese *silt*, e si tratta di un sedimento clastico incoerente di dimensioni comprese tra quelle delle sabbie e delle argille (0,062-0,039 mm).

Impasto: Termine per indicare una miscela di terra o argilla, mescolata ad altri materiali non plastici chiamati "*inerti*", utilizzata per fabbricare mattoni o prodotti ceramici. L'impasto si definisce semplice se composto di una sola argilla, composto se costituito da più materie prime. L'impasto può essere allo stato secco, plastico o fluido, in funzione della tecnica di foggatura adottata.

Impressione: Tecnica decorativa che consiste nel premere sulla superficie dell'oggetto, dallo stato plastico fino a durezza cuoio, uno strumento che può essere dei materiali più diversi. Si possono usare anche le dita, in particolare, le unghie.

Inerte: In chimica, si dice di elemento o composto che manifesta scarsa o nulla tendenza a reagire. Costituiscono lo scheletro dell'impasto, la cui coesione è garantita dal legante (calce, bitume, gesso o cemento). La qualità di un aggregato dipende in buona misura dalla sua natura petrografica e quindi dalla composizione

mineralogica e dalle proprietà fisiche e chimiche che ne derivano. La caratteristica più importante di un inerte è l'adeguata resistenza, infatti, gli inerti naturali hanno in genere una resistenza superiore a quella del legante pertanto è necessario che siano assenti elementi friabili.

Intonaco: Rivestimento di un'opera muraria la cui etimologia deriva dal termine “*tonaca*” (vestito, vestire); comunemente è una malta composta di due parti di sabbia fine e una di calce spenta, miscelate assieme ad acqua. La parte più superficiale può essere costituita, oltre che da calce, sabbia o altri inerti, da cemento, gesso e altri leganti.

Iwan: (porche). Stanza o sala totalmente aperta su un cortile o un porticato esterno.

Macinazione: Processo di riduzione controllato della materia. Lo scopo della macinazione è di ottenere un prodotto abbastanza omogeneo con precise caratteristiche granulometriche.

Malta: Impasto composto da una sostanza legante, come la calce o argilla, e un materiale inerte in parte fine, come la sabbia, amalgamato con acqua. La malta è il legante essenziale delle opere murarie. L'impasto della malta di argilla è simile a quello della terra da costruzione destinata alla fabbricazione di mattone e all'elevazione di muri in *pisé* o *torchis*. La malta idraulica è impermeabile e costituita nel legante da tre quarti di cenere o chamotte e un quarto di calce. Oltre che per la natura dei leganti, una distinzione delle malte può farsi a seconda che il fenomeno d'indurimento avvenga in presenza di aria o di acqua (m. aeree: di gesso, di calce; m. idrauliche: di calce idraulica, di calce e pozzolana, di cemento e agglomerante cementizio).

Mattone: Elemento da costruzione. Nelle tecniche costruttive antiche si distinguono due categorie di mattoni: quello detto crudo poiché essiccato al sole, e il mattone

cotto (laterizio) realizzato tramite cottura in forno a temperatura elevata. Il materiale di base, generalmente, è composto di terra, acqua e smagranti (composti spesso da elementi vegetali). Tra questi, il mattone crudo si può distinguere in due classi grazie alla tipologia di foggatura applicata: il mattone non in forma detto modellato a mano, e quello in forma ottenuto per mezzo di stampi. Il primo è più antico ed è foggato a mano a forma di cilindro o di parallelepipedo più o meno regolare. L'ultimo tipo, utilizzato anche oggi, consiste nel riempire con l'impasto, una forma quadrangolare, preparata in precedenza con pezzi di legno; una volta essiccato al sole il mattone si toglie dalla forma.

Muro: Opera verticale divisoria. Sono distinti più muri dipendentemente dalla loro funzione: quelli portanti (cui è legata la solidità della struttura), i tramezzi (muri divisori che non sorreggono azioni o pesi) e i muri di sostegno (muri di contenimento dei terrapieni).

Pavimento: Qualsiasi struttura che costituisca una superficie uniforme e resistente, atta a garantire la funzionalità e la comodità del passaggio e del transito.

Pennacchi: In architettura il termine è utilizzato per indicare le parti di scarico nelle coperture a cupola ed elementi di raccordo nel tamburo quadrangolare o poligonale con la parte emisferica soprastante.

Pisé: Tecnica costruttiva che impiega la terra da costruire a secco o miscelata con una bassa percentuale di acqua, battuta all'interno di casseforme fatte con tavole di legno, larghe quanto lo spessore del muro che si vuole ottenere. Il processo di compattazione è prodotto artificialmente attraverso l'impiego di un pestello di legno che diminuisce il volume e sopprime l'aria.

Plasticità: Caratteristica degli impasti che consiste nella possibilità di essere deformati, in crudo, senza rompersi, mantenendo la forma acquisita anche dopo

l'eliminazione della sollecitazione meccanica che ha provocato la deformazione. I minerali argillosi, alla presenza di adeguata quantità d'acqua, sono le parti maggiormente in grado di impartire plasticità.

Prelievo: Raccolta per asportazione di materiale dell'oggetto preso in esame. Nel settore dei beni culturali si hanno i seguenti prelievi: il *prelievo globale*, in caso di stratificazioni, consiste nell'asportazione di un unico frammento di tutti gli strati o tipologie che compongono l'oggetto; il *prelievo selettivo* è l'asportazione di materiale omogeneo, apparentemente a un unico strato o tipologia; il *prelievo multigraduale* comprende una sequenza di prelievi selettivi contigui per lo studio della distribuzione in profondità di specie chimiche; infine il *prelievo biologico* eseguito di norma con materiali sterili.

Raggi X: Radiazioni elettromagnetiche di alta energia, penetranti e ionizzanti con lunghezza d'onda piccola, compresa indicativamente tra 0,33nm e 20nm. Convenzionalmente il campo dei raggi X è diviso in *raggi X molli* o deboli (lunghezza d'onda compresa tra 0,1nm e 5nm) e *raggi X duri* o penetranti (lunghezza d'onda compresa tra 5nm e 20nm). Queste delimitazioni non sono rigide e universalmente definite. I raggi X furono scoperti da Wilhelm Röntgen (1845-1923) nel 1895 e nei paesi di lingua tedesca sono noti come raggi Röntgen.

Rivestimento: Termine con cui è indicato un sottile strato di materiale usato per ricoprire una superficie a scopo decorativo, conservativo e/o di consolidamento. Può essere a freddo come l'intonaco, di natura vetrosa (vetrina o smalto) o avere caratteristiche simili agli impasti argillosi. L'applicazione del rivestimento può avvenire sull'oggetto ancora crudo, parzialmente essiccato, o durante la cottura, o sul cotto, sia poroso sia compatto. Il materiale di rivestimento può essere applicato per spolveramento, allo stato secco, o allo stato semi liquido per aspersione, immersione, pennellatura o spruzzatura.

Sabbia: Roccia sedimentaria clastica, incoerente, derivata dalla degradazione di rocce preesistenti e costituita prevalentemente da frammenti di singoli cristalli, oltre a minuti frammenti di rocce e di altri tipi di sedimenti delle dimensioni comprese tra 1mm e 63 μ m. La composizione delle sabbie è molto variabile e riflette da un lato la provenienza, intesa come localizzazione, il clima, la composizione litologica, il rilievo e l'ambiente tettonico dell'area da cui proviene e dai processi di trasporto. Si hanno sabbie silicee, calcaree, glauconitiche e micacee. Le sabbie sono distinte in base alle dimensioni (fini, medie, grossolane) e alla loro origine (alluvionali, lacustri, marine ed eoliche).

Scheletro: Parte degli impasti che non presenta reattività nei confronti delle altre sostanze (inerte). Materiali tipici che costituiscono lo scheletro sono: quarzo, feldspati, chamotte, ghiaia, resti vegetali. Lo scheletro rappresenta la frazione più grossolana dell'impasto e comprende la frazione detritica dell'argilla e l'eventuale sgrassante aggiunto.

Sedimentazione: Processo di caduta delle particelle, sospese in un fluido, per effetto della gravità con graduale deposizione, da quelle più grosse a quelle più fini a parità di massa volumica.

Setacciatura: Suddivisione di un materiale incoerente, come le terre, in due o più frazioni di diversa granulometria con l'uso di setacci.

Smagrante: (*degrassante*) Materia prima o elemento mineralogico degli impasti che ha la funzione di diminuire la plasticità. Tutti i minerali non argillosi e le materie prime povere di parte argillosa sono adatti a svolgere questa funzione. Gli smagranti più comuni sono rappresentati da sabbie quarzifere, chamotte e resti vegetali.

Stagionatura: Insieme di processi fisico-chimici che si sviluppano in una materia prima argillosa scavata e lasciata all'aperto, a contatto con l'acqua e l'aria. La

putrefazione delle sostanze organiche, l'ossidazione dei solfuri, l'idratazione dei minerali argillosi, lo sbriciolamento degli aggregati a seguito dell'azione del gelo sono tra i fenomeni più comuni. La stagionatura dell'argilla, che si esegue generalmente durante l'inverno, richiede un periodo minimo di alcuni mesi e serve a migliorare le proprietà della materia prima.

Stato plastico: Stato di un impasto addizionato con acqua in quantità sufficiente a determinare una coesione fra le particelle, in modo che la massa possa essere deformata senza produrre rotture. Gli impasti allo stato plastico ammettono per lo più una percentuale d'acqua oscillante fra il 20% e il 30%. Questi impasti sono utilizzati nella maggior parte dei sistemi di foggatura.

Stato secco: Stato di un impasto addizionato con acqua o privo in misura insufficiente per determinare la coesione fra le particelle, tipica dello stato plastico. Lo stato secco ammette una percentuale massima d'acqua fino al 10%. Questo tipo d'impasto si utilizza quando si adotta la foggatura per pressatura.

Tell: Termine arabo che definisce una collina o monte assai frequente nella formazione dei toponimi arabi. In archeologia, collina artificiale che si è andata formando nel tempo con la sovrapposizione dei vari livelli dell'insediamento, soprattutto in luoghi in cui le favorevoli condizioni climatiche hanno fatto sì che le strutture non si disgregassero completamente. I *tell*, molto numerosi nel Vicino e Medio Oriente, offrono una situazione privilegiata che permette la determinazione delle sequenze cronologiche.

Tauf: Termine arabo per definire la tecnica di costruzione simile al pisé che non impiega l'utilizzo della cassaforma lignea, ma solo l'impiego di tra lignee per la lisciatura del muro.

Torchis: In architettura, nelle costruzioni in terra, questa tecnica impiega l'impasto terroso come semplice rivestimento delle strutture di legno.

Ultrasuoni: Radiazioni acustiche con frequenza maggiore di 20.000Hz, che superano la soglia massima di udibilità dell'orecchio umano.

Zoccolo: In architettura è il termine generico per indicare qualsiasi tipo di basamento o piedistallo di un elemento strutturale. Analogamente è utilizzato anche per indicare la decorazione della parte inferiore delle pareti nei vani interni degli edifici.

Ringraziamenti

Ringrazio i vari specialisti che hanno reso possibile il mio lavoro e soprattutto i professori: Miquel Montana Molist, Xavier Clop e Angel Alvarez (Università Autonoma di Barcellona - Spagna), Juan Jesus Martin del Rio e Francisco Alejandre (Università di Siviglia - Spagna), Francesca Baffi e Isabella Caneva (Università del Salento – Italia).

Un ringraziamento particolare va alle persone che mi hanno seguito e sostenuto nell'elaborazione dei dati, i dottori Giovanni Quarta e Davide Melica del Centro CNR-IBAM (Istituto Beni Archeologici e Monumentali) di Lecce.

Infine, un ringraziamento speciale va alla Dottoressa Anna Gómez Bach (Università Autonoma di Barcellona - Spagna) che mi è stata di aiuto durante la revisione della tesi, alla mia famiglia catalana che mi è stata vicina in tutti questi anni a Barcellona, e alla mia famiglia italiana che ha sopportato tutte le mie ansie.

BIBLIOGRAFIA

- ACHENZA 1966** M. Achenza, “*Produrre l’adobe: l’esperienza di tre cantieri a confronto*” (estratto), Cagliari 1996.
- ACHENZA 2008** M. Achenza, “La qualificazione del materiale”. In *Il manuale tematico della terra cruda. Manuali di recupero dei centri storici della Sardegna*, A cura di M.Achenza e U.Sanna. Cagliari 2008: 27-57.
- ADAM 1950** A. Adam, “La maison et le village dans quelques tribus de l’Anti-Atlas “, in *Hespéris*, vol. XXXVII, 1950: 289-362.
- ADAM 1988** J.P. Adam, “*L’arte di costruire presso i Romani*”, Longanesi, Milano 1988.
- ADAMS 1981** R. McC. Adams, “*Heartland of cities. Surveys of ancient settlement and land use on the central floodplain of the Euphrates*”. Chicago, 1981.
- AFRUNS, et alii 1996** J. Anfruns, T. Majo, J.I. Oms, “Los restos humanos del Neolítico Prececerámico” en Molist (ed) *Tell Halula (Siria). Un yacimiento neolítico del Valle medio del Eufrates. Campañas 1991-1992*, ediciones del ministerio de Educación y Cultura, Madrid 1996: 161-173.
- AGUS 1988** N. Agus, “*Idee e ricerche sulla tecnologia costruttiva in terra cruda: il Pisé*”, Cagliari 1988.
- AKKERMANS 2013** Peter M.M.G. Akkermans. “Northern Syria in the Late Neolithic, ca. 6800–5300 BC”. Eds. Orthmann, Matthiae, al-Maqdissi. In “*La syrie de l’époque néolithique à l’âge du fer*”. Harrassowitz Verlag: Wiesbaden, 2013: 17-31.
- ALECCI, BRICCOLI BATI, ROVERO 2006** V. Alecci, S. Briccoli Bati, L. Rovero. “Considerazioni sulla messa a punto di test per la determinazione dei parametri meccanici del materiale terra cruda”. Convegno Nazionale “*Sperimentazione su materiali e strutture*”, 6/7 dicembre 2006, a cura di S. Russo e E. Siviero. Venezia (Italia). (2006)
- ALEJANDRE SÁNCHEZ et alii 2012** F.J. Alejandro Sánchez, J.J. Martín-del-Río, F.J. Blasco López & V. Flores Alés, “Methodological proposal for rammed-earth wall characterization: Understanding of material in preliminary studies”. In *Rammed Earth Conservation*. Mileto, Vegas & Cristini (eds). London 2012: 41-46.

- ALGAZE 1993** G. Algaze, "The *Uruk World System*". Chicago, 1993.
- AL-MAQDISSI 1997** M. Al-Maqdissi, "Stratigraphie et maisons à Hamāh. Le cas du bronze moyen", Atti Convegno Internazionale Damasco 1992 "*Les maisons dans la Syrie antique du III^e millénaire aux débuts de l'Islam*". Istituto Francese di Archeologia del Vicino Oriente. Beyrouth, 1997.
- ÁLVAREZ 2013** A. Álvarez, "Reseña geológica de la zona de Tell Halula". In "*Tell Halula: un poblado de los primeros agricultores en el valle del Éufrates, Siria*" Coordinador: Miquel Molist. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Tomo I. 2013: 24-30.
- ALVARO, et alii 2011** C. Alvaro, M. Frangipane, G. Liberotti, R. Quaresima, R. Volpe, "The Study of the Fourth Millennium Mud-Bricks at Arslantepe: Malatya(Turkey): Preliminary Results". In I. Turbanti-Memmi (ed.), *Proceedings of 37th International Symposium on Archaeometry, 13th-16th May 2008, Siena, Italy*, Berlin Heidelberg 2011: 651-656.
- AYYAD, KRZYWINSKI, PIERCE 1991** S. Ayyad, K. Krzywinski, & R. Pierce, "Mudbrick as bearer of agricultural information: An archaeopalynologic study". In *Norwegian Archaeological Review* 24, 1991: 77-91.
- AYMERICH 1993** C. Aymerich, "Alcuni buoni motivi per occuparci dell'architettura in terra cruda in Sardegna" in A. Sanna, *Architetture in terra. Tipologia, Tecnologia, Progetto*, Cagliari 1993: 49-84.
- ANASTASIO 2011** S. Anastasio, "*Costruire tra i due fiumi. Introduzione all'edilizia in Mesopotamia tra Neolitico ed Età del Ferro*", Firenze 2011.
- ARAUS et alii 1998** J.L. Araus, A. Febrero, M. Català, M. Molist, I. Ramagosa, J. Voltes. "Evidence for good crop water availability from a Neolithic pre-pottery site on the middle Euphrates based on the carbon isotope discrimination of seeds". Paper presented at the "*The origins of agriculture and the domestication of crop plants in the Near East*". The Harlan Symposium, Aleppo, Syria.(1998).
- ARCELINE, BUCHSENCHUTZ 1985** P. Arceline, O. Buchsenschutz, "Les données de la protohistoire". In : Lasfargues (J.) éd. – *Architectures de terre et de bois. L'habitat privé des provinces occidentales du monde romain. Antécédents et prolongements : protohistoire, Moyen Age et quelques expériences*

- contemporaines*. Actes du 2e Congrès archéol. de Gaule mérid., Lyon 1983. (Dococuments d'Archéologie Française, 2)Paris, MHS, 1985: 15-28.
- ARNOLDUS,
HUYZENDVELD
2013** A. Arnoldus-Huyzendveld, “A Thin Basis. The Soil Landscape of Ebla and Tell Tuqan”, In Matthiae P and Marchetti N. et al. “*Ebla and its Landscape: Early State Formation in the Ancient Near East*”.Chapter 18, 2013: 324-335.
- ASCALONE
-2008** E. Ascalone, “The Lower Town. Area N”. In F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce: 71-106
- 2011** E. Ascalone, “The Lower Town. Area N”. In F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce: 23-59.
- 2014** E. Ascalone, “The Long Life of the Dead. A Middle Bronze IB Necropolis at Tell Tuqan, Syria”, In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 189-226.
- ASENSIO 1995** J.A. Asensio 1995, “Arquitectura de tierra y madera en la protostoria del valle medio del Ebro y su relación con la del Mediterráneo”, in *Caesaragusta* n°71, Zaragoza 1995: 55-77.
- AURENCHE
-1977** O. Aurenche, “*Dictionnaire Illustré Multilingue de l'Architecture du Proche Orient Ancien*”, Lyon, 1977.
- 1981** O. Aurenche, “*La maison orientale. L' architecture du Proche Orient ancien des origines au milieu du quatrième millenaire*”, Paris 1981.
- 1993** O. Aurenche, “L'origine de la brique dans le Proche Orient Ancien”. In Frangipane, Hauptmann, Liverani, Matthiae e Mellink (eds.). *Between the Rivers and Over the Mountains*, Roma 1993: 71-85.
- 1999** O. Aurenche, “Habiter la steppe syrienne, aujourd'hui” In Braemer, Cleuziou e Coudart. *Habitat et société*, Antibes 1999: 67-82.

- 2012** O. Aurenche , “*Vous avez dit ethnoarchéologue? Choix d’articles (1972/2007)*”. Maison de l’Orient et de la Méditerranée Lyon 2012.
- AURENCHE, et alii 1985** O. Aurenche, S. Calley, J. Cauvin, M. Molist. “L’architecture de Cafer Höyük (fouilles 1982-1983)”. Rapport préliminaire. In *Cahiers de l’Euphrate* 4, 1985: 11-33.
- AURENCHE, KOZLOWSKI 2003** O. Aurenche, S.K. Kozłowski, “*La naissance du Néolithique au Proche Orient*” , Paris 2003.
- AWAD, RIVOAL 2009** N. Awad, M. Rivoal. “Byzantine settlements and management of environmental resources in Central Syria: the case of the basalt uplands” In *Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria. An architectural tradition shared by East and West*”. Mecca e Dipaquala (Eds.). Pisa 2009: 227-243.
- BACCHETTA 2003** A. Bacchetta, “*Edilizia rurale romana. Materiale e tecniche costruttive nella Pianura Padana (II a.C. - IV d.C.)*”. Firenze 2003.
- BADRE -1990** L. Badre, “Tell Kazel, Syria”, in AUB Museum Excavations 1985-1987. Preliminary Reports: *Beytus* 38, 1990: 7-124.
- 1997** L. Badre, “La maison à Tell Kasel”, in *Les maisons dans la Syrie Antiqua du III millénaire aux débuts de l’Islam*, Beyrouth, 1997.
- BAFFI -1983** F.Baffi, “Osservazioni sulla tecnica architettonica degli edifici paleosiriani di Ebla, In *Studi Eblaiti VI*, Roma 1983: 151-165.
- 1990** F. Baffi, “Tell Touqan, une ville paléosyrienne”, In *Les Annales Archéologiques Arabes Syriennes* 40, 1990: 64-75.
- 1994** F. Baffi, “Tell Tuqan (Siria): campagna di scavi 1993. La Porta Urbica di Sud-Est”, *Orient Express* 1994/1: 14-15.
- 2002** F. Baffi, “Osservazioni sull’architettura domestica lungo il corso del Medio Eufrate nell’Età del Bronzo Tardo. Il caso di Tell Fray”. In M. G. Amadosi – “*Da Pirgy a Mozia*” Studi sull’Archeologia del Mediterraneo, in Memoria di Atonia Ciasca, Vicino Oriente. Quad.3/1, Roma, 2002.

- 2006a** F. Baffi, “Introduzione”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Ricerche archeologiche italiane nella regione del Maath (Siria)*, Galatina-Lecce 2006: 9-13.
- 2006b** F. Baffi, “Le campagne 1978, 1981 e 1986. Il sistema difensivo di nord-est”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Ricerche archeologiche italiane nella regione del Maath (Siria)*, Galatina-Lecce 2006: 18-35.
- 2006c** F. Baffi, “Le campagne del 1978, 1981 e 1986. La città bassa di nord-ovest”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Ricerche archeologiche italiane nella regione del Maath (Siria)*, Galatina-Lecce 2006: 36-39.
- 2006d** F. Baffi, “Le campagne 1978, 1981 e 1986. La città alta: la fortificazione dell’acropoli”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Ricerche archeologiche italiane nella regione del Maath (Siria)*, Galatina-Lecce 2006: 40-48.
- 2006e** F. Baffi, “La campagna del 1993: Area F”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Ricerche archeologiche italiane nella regione del Maath (Siria)*, Galatina-Lecce 2006: 143-156.
- 2008a** F. Baffi “Who locked the Door? Fortifications Walls and City Gates in Middle Bronze Age Inner Syria: Ebla and Tell Tuqan”. In J. Córdoba *et al.* (eds.), *Proceedings of the 5th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, Madrid 3-8 April 2006*, Madrid 2008: 225-244.
- 2008b** F. Baffi, “Introduction. The Occupational Sequence”, in Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce 2008: 9-12.
- 2008c** F. Baffi, “The Upper Town. Area D”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce 2008: 109-156.
- 2010** F. Baffi, “New Discoveries at Tell Tuqan (Syria)”, in P. Matthiae – F. Pinnock – L. Nigro – N. Marchetti (eds), *Proceedings of the 6th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, May, 5th-10th 2008, “Sapienza” – Università di Roma. Vol. 2. Excavations, Surveys and Restorations: Reports on Recent Field Archaeology in the Near East*, Wiesbaden 2010: 85-98.

- 2011a** F.Baffi, “Introduction”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 5-12.
- 2011b** F. Baffi, “The Upper Town. Area D”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 143-168.
- 2011c** F. Baffi, “The Upper Town. Area T”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 225-306.
- 2012** F. Baffi, “Excavations at Tell Tuqan: New Results”, in M. Seymour et al. (eds), *Proceedings of the 7th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, 12 April – 16 April 2010, British Museum and UCL, London. Vol. 3. Fieldwork & Recent Research. Posters*, Wiesbaden 2012: 205-221.
- 2014a** F. Baffi, “The defences at Tell Tuqan in the 2nd Millennium B.C.”, In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 163-188.
- 2014b** F. Baffi, “Tell Tuqan: A Village of the Persian Period on the Shores of the Lake”, In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 427-446.
- BAFFI,
PEYRONEL 2014** F. Baffi, L. Peyronel, “Tell Tuqan and the Matkh Basin in a Regional Perspective. Thoughts and Questions Raised by the International Conference”, In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 9-34.
- BAGLIANI 2009** S. Bagliani, “Dissesti e degrado a causa dell'uomo sull'architettura in terra cruda”, In *Mediterra 2009, 1^a Conferenza Mediterranea sull'architettura in terra*, a cura di M. Achenza, M. Correia e H. Guillaud. Manzano (Ud) 2009: 223-232.

- BAGLIONI et alii 2010** E. Baglioni, F. Fratini, L. Rovero. “*The materials utilised in the earthen buildings sited in the Drâa valley (Morocco): mineralogical and mechanical characteristics*” Atti Convegno Arquitectura de Terra em Portugal-9°Seminario Ibero Americano de Arquitectura e Construção com Terra. Coimbra 2010.
- BAKLOUTI 1990** N. Baklouti, “La maison traditionnelle à Gabès : le houche Khraief”, in *L’habitat traditionnel dans les pays musulmans autour de la Méditerranée* Le Caire : I.F.A.O 1990 : 543-567.
- BALOSSI RESTELLI 2008** F. Balossi Restelli, “Post-Ubaid Occupation on the Upper Euphrates: Late Chalcolithic 1-2 at Arslantepe (Malatya, Turkey)”, in H. Kuhne et al. (eds.), *Proceedings of the 4ICAANE*, vol. 2, Berlin 2008: 21-32.
- BANDELLONI 1991** E. Bandelloni, “*Elementi di architettura tecnica*”, Padova, 1991.
- BANNING 2003** E.B. Banning, “Housing Neolithic farmers”. In *Near Eastern Archaeology* n. 66, 2003: 4-21.
- BARAKAT 1998** H.N. Barakat, “Archaeobotany at Yumuktepe”. In *V yilinda Yumuktepe*, K. Köröçlü (ed.) Istanbul 1998:17-18.
- BAR-YOSEF -1998** O. Bar-Yosef. “On the Nature of Transitions: The Middle to Upper Palaeolithic and the Neolithic Revolution”. In *Cambridge Archaeological Journal* n.8 (02), 1998: 141-163.
- 2002** O. Bar-Yosef, “Natufian: A complex society of foragers”. In *Beyond Foraging and Collecting*, Fitzhugh and Habu Ed, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New-York, 2002: 91-149.
- BASAGANA 1974** R. Basagana “Habitat traditionnel et structures familiales en Kabylie”, in *Centre de recherches Antropologiques, Préhistoriques et Ethnographiques, Algiers Memoires*; 23. Alger 1974.
- BELFER-COHEN, BAR-YOSEF 2000** A. Belfer-Cohen and O. Bar-Yosef. “Early Sedentism in the Near East - A Bumpy Ride to Village Life”. In: *Life in Neolithic Farming Communities. Social Organization, Identity, and Differentiation*, ed. I. Kuijt. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000: 19-37.

- BENDAKIR
-2000** M. Bendakir, “*Problèmes de la préservation des architectures en briques de terre crue. Étude de cas : le site archéologique de Mari (Syrie)*” Thèse de Doctorat, Paris 2000.
- 2008** M. Bendakir, “*Architectures de terre en Syrie*”, Grenoble 2008.
- 2011** M. Bendakir *et alii*, “Une collaboration exemplaire pour la conservation et la mise en valeur du site archéologique de Mari (Syrie)”. In L. Rainer *et al.* (eds.), *Terra 2008. Proceedings of the 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Bamako, Mali, February 1-5, 2008*: Hong Kong 2011: 148-155.
- BERTAN,
FOCCARDI 1998** F. Bertan, G. Foccardi, “*Architettura Cinese. Il trattato di LiChieh*”, Torino, 1998.
- BERTAGNIN 1999** M. Bertagnin, “*Architetture di terra in Italia. Tipologie, tecnologie e culture costruttive*”, Monfalcone, 1999.
- BIÇAKÇI
-2003** E. Bıçakçı, “Observations on the Early Pre-Pottery Neolithic Architecture in the Near East-1: New Building Materials and Construction Techniques”. In *From Villages to Towns*. - Ufuk Esin (ed.). Istanbul 2003.
- 2005** E. Bıçakçı, “Materials and Architecture in Prehistoric Ages”. In *Materials and Architecture in Anatolia*. XXIIInd World Architecture Congress UIA Istanbul 2005: 19-62.
- BISH,
REYNOLDS 1989** D.L. Bish and R.C. Reynolds, “Sample preparation for X-ray diffraction”. In *Modern Powder Diffraction, Bish and Post (eds). Reviews in Mineralogy 20*, Washington 1989 : 73-99.
- BIRSOY 2002** R. Birsoy, “Formation of sepiolite-palygorskite and related minerals from solution”, In *Clays and Clays Minerals*, Vol. 50, No.6, 2002 : 736-745.
- BOCCIANI 1979** C. Boccianti. “Vernacular Architecture in southern Turkey”, in *Art and archaeology Research Papers 15* ; London 1979 : 28-32.
- BOUBE 1967** J. Boube, “Documents d’architecture maurétanienne au Maroc” in *BAM 7*, 1967.

- BOUILLANE,
DOAT,
VITOUX 1975** C. Bouillane, P. Doat and F. Vitoux, “*Minimôme découvre la terre*” Palafitte jeunesse (Editor): 1975: 279-291.
- BRAEMER
-1982** F. Braemer, “*L’architecture domestique du Levant à l’Âge du Fer*”, in Édition Recherches sur les Civilisations, Paris, 1982.
- 1997** F. Braemer, “Architecture de l’age du Fer en Syrie du Nord”, in C. Castel et al. (eds), *Les maisons dans la Syrie Antique du III millénaire aux débuts de l’Islam*, Beirut : IFAPO 1997 : 61-71.
- BRICCOLI BATI
et alii 2010** S. Briccoli Bati, L. Rovero, U. Toniatti (2008). “Considerations on methods to evaluate the compressive strength of earth building materials” In *Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage*, 1-5 February, Bamako, Mali. Los Angeles 2008: 253-258.
- BROCATO,
GALLUCCIO 2001** P. Brocato, F. Galluccio, “*Capanne moderne, tradizioni antiche*” in *From huts to houses. Transformations of ancient societies*, Atti del Seminario Internazionale, Stockholm 2001: 283-309.
- BUXÓ,
ROVIRA 2013** R. Buxó, N. Rovira. “Tell Halula: arqueobotánica de los restos de semillas y frutos”. In “*Tell Halula: un poblado de los primeros agricultores en el valle del Éufrates, Siria*” Coordinador: Miquel Molist. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Tomo I. 2013: 259-389.
- CACCIAVILLANI
1998** C. A. Cacciavillani, “La trattatistica nella costruzione delle case di terra nel XVIII e XIX secolo”, in *Terra: incipit vita nova. L’architettura di terra cruda dalle origini al presente*, Torino 1998.
- CAGNANA 2000** A. Cagnana, “*Archeologia dei materiali da costruzione*”. Collana diretta da G.P. Brogiolo e G. Olcese. Mantova, 2000.
- CAMPS 1960** G. Camps, “Aux origines de la berberie. Massinissa ou le debuts de l’histoire”, in *Lybica*, Vol. 8, 1960.
- CALVET 1994** Y. Calvet, “La grande résidence paléo-babyloniennes de Larsa”, In Gasche et alii (Ed.) *Cinquante-deux réflexions sur le Proche-Orient ancien*, 1994 : 215-228.

- CALVO, GOPAL 1975** C. Calvo, R. Gopal, "The crystal structure of whitlockite from the Palermo quarry". In *American Mineralogist*, 60, 1975: 120-133.
- CAMPS 1980** G. Camps, "*Berbères, aux marges de l'histoire*", Toulouse 1980.
- CANAAN 1933** J. Canaan, "The Palestinian Arab house: it's Architecture and Folklore", *Journal of Palestine Oriental Society* 13: 1993, 1-83.
- CANEVA -1998** I. Caneva, "Mersin-Yumuktepe from 7th through 5th Mill BC: from a rural settlement to a Fortified Town". *Proceedings of the First International Congress of Archaeology of the Near East*, Rome 1998:165-170.
- 2010** I. Caneva, "L'ambiente antico e la stratigrafia di Yumuktepe", In I. Caneva e G.Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 9-16.
- CANEVA et alii 2012** I. Caneva, G. Palumbi, A. Pasquino. "The Ubaid Impact on the Periphery: Mersin-Yumuktepe During the Fifth Millennium BC" In *After the Ubaid: Interpreting change from the Caucasus to Mesopotamia at the dawn of Urban Civilization (4500-3500BC)*, Ed. C. Marro, Papers from The Post-Ubaid Horizon in the Fertile Crescent and Beyond - International Workshop held at Fosseuse, 29th June-1st July 2009. *Varia Anatolica XXVII*, Paris 2012: 353-389.
- CANEVA, SEVIN 2004** I. Caneva, V. Sevin, (eds.), "*Mersin-Yumuktepe*", a *Rappraisal*". Congedo Editore, Bari 2004.
- CANIVELL 2011** J. Canivell, "*Methodology of diagnosis and characterization historical rammed-earth walls*". Universidad Pablo de Olavide, Sevilla 2011.
- CANTELLI et alii** V. Cantelli, V. M. L. Martina, L. Picotti. "From Wetland to desert. A Geomorphologic approach to the Eblaite Chora" In *Ebla and its Landscape: Early State Formation in the Ancient Near East*, Ed. P. Matthiae e N. Marchetti, Left Coast Press 2013: 316-323.
- CASTEL 2001** C. Castel, *Revue de Martin Sauvage* "La brique et sa mise en œuvre en Mésopotamie. Des origines à l'époque achéménide" (Centre de recherche d'archéologie orientale, Université de Paris I, n° 13), *Syria*, vol. 78, n° 1, 2001: 227-230.

- CAUVIN
-1978** J. Cauvin, "Les premiers villages de Syrie-Palestine du IXe au VIIe millénaire avant Jésus-Christ". Lyon Maison de l'Orient méditerranéen" In *Collection de la Maison de l'Orient* n° 4, Série archéologique 3), 1978.
- 1994** J. Cauvin, "*Naissance des divinités, naissance de l'agriculture: la révolution des symboles au Néolithique*". Paris CNRS Éditions, 1994.
- CAVALCANTE,
BELVISO 2005** F. Cavalcante, C. Belviso. "Struttura e proprietà dei minerali argillosi", in *Argille e minerali delle argille*, Vol. 5. Potenza 2005: 23-50.
- CAZZELLA 1985** A. Cazzella, "L'archeologia dopo la New Archeology: il rapporto con l'etno-antropologia", In *Dialoghi di Archeologia*, Vol. 1, 1985: 11-24.
- CHANT,
GOODMAN 1999** C. Chant and D. Goodman, "*Pre-industrial Cities e Technology*". The Open University, 1999.
- CHAZELLES,
FICHE,
POUPET 1985** C.A. de Chazelles, J.C. Fiche, P. Poupet, "La Gaule méridionale, *architecture de terre et de bois. L' habitat privé des provinces occidentales du monde romain. Antécédents et prolongements. Protohistoire, Moyen Age et quelques experience contemporaines*". Documents d' Archéologie Française Vol. 2, 1985: 61-71.
- CHIARI 1990** G. Chiari, "Chemical Surface Treatments and Capping Techniques of Earthen Structures: A Long Term Evaluation" In *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990*: 267-273.
- CHIETI 2000** Piano territoriale provinciale. Ricerche tematiche. Censimento delle "*Case in terra cruda*" nella provincia di Chieti, CD Rom a cura della Provincia di Chieti, Assessorato Assetto del territorio, settore Urbanistica e Pianificazione Territoriale, 2000.
- CHILDE
1942** V.G. Childe, "*What Happened in History*", Harmondsworth, Penguin Books, 1942.
- 1950** G. Childe, "The Urban Revolution" In *Town Planning Review*, 1950.
- CHIKHAOUI 2002** N. Chikhaoui, "Savoir-faire/savoir technique dans l'architecture de terre au Maroc (Sud, pré-Rif)", in *BAM* 19, 2002 : 393-419.

- CHUNG 1974** F.H. Chung, “Quantitative interpretation of x-Ray diffraction patterns. I. Matrix-fluxing method of quantitative analysis of mixture”. In *Journal of Applied Crystallography* 8, 1974: 17-19.
- CINTAS 1976** P. Cintas, “*Manuel d’ archéologie punique*”, Paris 1976.
- CLAASZ
COOKSON 2010** B. Claasz Cookson, “*Living in Mud*”, Istanbul 2010.
- CODY 1990** J.W. Cody, “Earthen walls from France and England for the North America farmers, 1806-1870” in *6th International conference on the conservation of earthen architecture* : Adobe 90 preprints. Las Cruces, New Mexico, 14-19 October 1990 : 35-43.
- COLANTONI 2010** A. Colantoni, “A preliminary account on the Late Bronze Age pottery production at Tell Mardikh/Ebla”. In P. Matthiae, F. Pinnock, L. Nigro and N. Marchetti (eds), *Proceedings of the 6th International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East*. Wiesbaden: Harrassowitz 2010: 663-674.
- COQUEUGNIOT
2014** E. Coqueugniot, “Dja’De (Syria) et les représentations symboliques au IX^e millénaire cal. BC.”, In Manen, Perrin et Guilaine (eds), *La transition néolithique en Méditerranée*. 2014: 91-108.
- CONTENSON
-1973** H. Contenson, “*Le niveau halafien de Ras Shamra. Rapport préliminaire sur les campagnes 1968-1972 dans le sondage préhistorique*”. In Syria 50. 1973: 13-33.
- 2000** H. Contenson, “*Ramad. Site néolithique en Damascène (Syrie) aux VIII^e et VII^e millénaires avant l’ère chrétienne*”. Beyrouth, IFAPO, BAH 157. (2000).
- COOKE
-2002** L. Cooke, “Earthen Building Materials and Techniques at Merv, Turkmenistan. In *Lehm 2004. 4. International Fachtagung für Lehm, 29-30 October*. Leipzig, Germany 2004:52-61.
- 2010** L. Cooke, “*Conservation Approaches to Earthen Architecture in Archaeological Contexts.*” BAR International Series 2147. Oxford 2010.
- CORNELIS,
CORNELIUS
HURLBURT 1996** K. Cornelis, S. Cornelius Hurlbut, “*Manual de mineralogía de Dana*” Reverté, 1996.

- CUOMO
DI CAPRIO 2007** N. Cuomo di Caprio, “*Ceramica in archeologia*” Ed. L’Erma di Bretschneider, Roma 2007.
- DAVEY 1965** N. Davey, “*Storia del materiale da costruzione*”, Milano 1965.
- DEGLI
ESPOSTI 1998** M. Degli Esposti, “Area E2. I livelli del Ferro I-II. Architettura e materiali”. In “*Tell Afis (Siria). Scavi sull’acropoli 1988-1992. The 1988-1992 Excavations on the Acropolis*”, Ed. S.M. Cecchini e S. Mazzoni. Ricerche di Archeologia del Vicino Oriente 1, Pisa 1998: 231-247.
- DELOUGAZ 1933** P. Delougaz, “*Plano-convex bricks and the methods of their employment*”. Study in Ancient Oriental Civilization. Chicago 1933.
- DE GROSSI
MAZZORIN,
MINNITI 2010** J. De Grossi Mazzorin, C. Minniti, “Gli animali di Yumuktepe: l’ambiente, la caccia, l’allevamento, il lavoro”. In I. Caneva e G.Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 105-108.
- DEKHORDI 2004** A. Dekhordi, “Abianeh, a village made of earth” In *Lehm 2004. 4. International Fachtagung für Lehm, 29-30 October*. Leipzig, Germany 2004:28-31.
- DE MAIGRET 1981** A. De Maigret, “*Il fattore idrologico nell’economia di Ebla*”, In *OrAnt* 20, 1981: 1-36.
- DE MEYER 1978** L. De Meyer, “*Tell-ed-Der II, progress report (first series)*” Ed. Peeters, Louvain 1978.
- DESHAYES 1969** J. Deshayes, “*Les civilisations de l’Orient Ancien*”. Collection Le Grandes Civilisations, Paris 1969.
- DETHIER 1982** J. Dethier (a cura di), “*Architetture di terra*”, Milano 1982.
- DEVAUX 2006** E. Deveaux, “Les coupoles en terre en Syrie” DSA École Nationale Supérieure d’Architecture de Grenoble, 2006.
- DEVAUX et
Alii 2009** Deveaux E., L. Dipasquale, S. Mecca, S. Onnis, “*Les architectures en terre a coupoles dans la Syrie du nord*” in *Mediterra* 2009 1° Conferenza sull’Architettura in terra cruda. Monfalcone 2009: 41-52.

- DEVEAUX,
DIPASQUALE 2009** E. Devaux e L. Dipasquale, “The urban morphology of dome villages” in *Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria. An architectural tradition shared by East and West*. Mecca e Dipasquale (Eds.). Pisa 2009, 257-267.
- DOBRES 2000** M.A Dobres, “Technology and Social Agency”, Oxford 2000.
- EDVARDS-JONES
2003** Edwards-Jones, G. “Agricultural Policy and Environment in Syria: The Cases of Rangeland Grazing and Soil Management.” In *Syrian Agriculture at the Crossroads. FAO Agricultural Policy and Economic Development Series 8*. Rome, 2003:115–33.
- EMERY 2011** V.L. Emery, “Mud-Brick”. In Willeke Wendrich (ed.), *UCLA Encyclopedia of Egyptology*, Los Angeles. (2011).
- ETIENNE 1960** R. Etienne, “*Le quartier nord-est de Volubilis*”, Paris 1960.
- FALSONE,
SCONZO 2012** G. Falsone, P. Sconzo. “Tell shiyukh tahtani, syria Report of the 2006-09 seasons”, In R. Matthews e J. Curtis (eds.). *Proceedings of the 7th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, 12-16 April 2010*. Volume 3- Wiesbaden 2012: 167-190.
- FACCIORUSSO
et alii 2011** Facciorusso J., Madiari C., Vannucchi G., “*Origine e struttura dei terreni*” Dispense di Geotecnica, Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Capitolo I: 1-20.
- FANTAR
-1984** M. Fantar, “*Kerkouane, cité punique du Cap Bon*”, vol. I, Tunis, 1984.
- 1985** M. Fantar, “*Kerkouane, cité punique du Cap Bon*”, vol. II, Tunis, 1985.
- FATHY 1989** H. Fathy, “*Architecture for the poor: An experiment in rural Egypt*”. Cairo: American University. (1989).
- FIORE 2005** S. Fiore, “Struttura e proprietà dei minerali argillosi”, in *Argille e minerali delle argille*, Vol. 5. Potenza 2005: 3-22.
- FIorentINO 2004** G. Fiorentino, “The Botanical view of food and Landscape at Yumuktepe”, In Caneva e Köröglü (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 159-162.

- FIorentino**
-2008 R. Fiorentino, “The Upper Town. Area Q”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce: 157-182.
- 2014** R. Fiorentino, “The Urban Settlement at Tell Tuqan during the Iron Age” In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 391-426.
- FIorentino,**
MARINELLI
-2011a R. Fiorentino, G. Marinelli, “The Upper Town. Area Q”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 169-207,
- 2011b** R. Fiorentino, G. Marinelli, “The Upper Town. Area Z”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 209-224.
- FIorentino,**
ULAŞ 2010 G. Fiorentino, B. Ulaş. “Agricoltura Vegetale a Yumuktepe”. In I. Caneva e G.Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 9-16.
- FLANNERY**
-1994 K.V. Flannery, “Childe the evolutionist. A perspective from Nuclear America”. In Harris (ed.) *The Archaeology of V. Gordon Childe: Contemporary Perspectives*. London: UCL Press 1994: 101-119.
- 2002** Flannery, K.V., “The origins of the village revisited. From nuclear to extended households” In *American antiquity* 67, 2002: 417–33.
- FOLK 1975** R.L. Folk, “Geologic Urban Hind planning: An Example from a Hellenistic-Byzantine City, Stobi –Yugoslavian Macedonia” In *Environmental Geology* 1975:5-22.
- FORLANI 2001** M. C. Forlani, “Costruzione e uso della terra”. Rimini 2001.
- FOUCHER 1963** L. Foucher, “*Découvertes archéologiques à Thysdrus en 1961*” (Tunis 1962), 63.
- FRANCESCHI,**
GERMANI 2005 S. Franceschi, L. Germano. “*Restauro architettonico. Edilizia Storica e Restauro Archeologico*”. Roma 2005.

- FRANGIPANE 1996** M. Frangipane, “*La nascita dello Stato nel Vicino Oriente. Dai lignaggi alla burocrazia nella Grande Mesopotamia*”, Bari 1996.
- FRATINI 2011** F. Fratini, “Earth and earthen conglomerates”, In *Earth - lands: earthen architecture of Southern Italy*. Ed. S. Mecca & G. Lotti; pp. Pisa 2011:97-103.
- FRENCH 1984** C. French “A sediment analysis of mud brick and natural features at el-Amarna”. In *Amarna reports I*, Ed. Kemp; London: Egypt Exploration Society. 1984: 189-201.
- GALDIERI -1978** E. Galdieri, “*A Few Conservation Problems Concerning Several Islamic Monuments in Ghazni (Afghanistan): Technical Report and Notes on a Plan of Action*”. Istituto italiano per il Medio ed Estremo Oriente. Centro restauri. ISIAO 1978.
- 1982** E. Galdieri, “*Le meraviglie dell’architettura in terra cruda*”, Bari, 1982.
- 1986** E. Galdieri, “Considerazioni sull’Architettura dell’Islam” AA.VV. *Architettura islamica e orientale*, Accademia delle Arti del Disegno. Firenze 1986:12-18.
- 1987** E. Galdieri. “*L’architettura in terra cruda: caratteristiche tecnologiche, potenzialità formali e problemi di conservazione*”. *Restauro*. Roma: ICCROM, 16, 94: 55-72.
- 1993** E. Galdieri, “Le architetture nell’ antichità in Italia”, in A. Sanna (a cura di), *Architetture in terra. Tipologia, Tecnologia, Progetto*, Cagliari, 1993.
- 1998** E. Galdieri, “L’ impiego della terra e la casa dell’uomo. Tecniche, forme e funzioni nell’antichità”, in *Terra: incipit vita nova. L’architettura di terra cruda dalle origini al presente*. Torino, 1998.
- GARSTANG 1953** J. Garstang, “Prehistoric Mersin”. Oxford 1953.
- GASCHE, BIRCHMEIER 1981** H. Gasche, W. Birchmeier, “*Contribution à l’étude de la voûte en brique crue*”, *Akkadica* 24, Sett.-Ott. 1981

- GEOTECNICA 1983** Associazione Geotecnica Italiana. Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre. *Geotecnica*, Vol. 6, 1983: 275-286.
- GEYER, CALVET 2001** Geyer, Y. Calvet, “Les steppes arides de la Syrie du Nord au Bronze ancien ou « la première conquête de l’est », In B. Geyer (éd.), *Conquête de la steppe et appropriation des terres sur les marges arides du Croissant fertile*, T.M.O. 36, Lyon : Maison de l’Orient, 2001: 55-67.
- GIANNESI 1998** D. Giannessi, “Area E1. Late Chalcolithic, Early, Middle and Late Bronze I Age”. In *Tell Afis (Siria) : Scavi sull’acropoli 1988-1992/The 1988-1992 Excavations on the Acropolis*, Ed. Cecchini e Mazzoni. *Ricerche di Archeologia del Vicino Oriente*, Pisa 1998 :101-122.
- GIANNICHECKDA 2005** E. Giannichedda, “L’archeometria fra scienza e storia”, in *Tecnologia di lavorazione e impieghi dei manufatti*, Atti della 7° Giornata di Archeometria della Ceramica (Lucera, 10 – 11 aprile 2003) a cura di B. Fabbri, S. Gualtieri, G. Volpe, 2005 : 11-19.
- GODINEAU 1985** Ch. Goudineau, “Présentation générale”, in “*Architecture de terre et de bois. L’ habitat privé des provinces occidentales du monde romain*”, in *Documents d’ Archéologie Française n° 2*, 1985.
- GOLDBERG 1979** P. Goldberg, “Geology of late Bronze Age mudbrick from Tel Lachish. Tel Aviv”. In *The Renewed Archaeological Excavations at Lachish (1973-1994)*, a cura di David Ussishkin. Vol. V, C. 36: 2593-2603.
- GONZALEZ 2009** M. Gonzalez Pascual, “Las extraccion de las pinturas murales neolíticas descubiertas en Tell Dja’de el Mughara (Syria)” In *Patrimonio Cultural de España*, 8, 2009: 247-256.
- GORING-MORRIS, BELFER-COHEN 2008** A.N. Goring-Morris and A. Belfer-Cohen, “A roff over one’s head: developments in Near Eastern residential architecture across the Epipaleolithic-Neolithic transition”. In *The Neolithic demographic transition and its consequences*, Eds. Bocquet-Appel & Bar-Yosef. New York: Springer, 2008: 239-286.
- GRAHAM MC HENRY 1984** P. Graham McHenry, “*Adobe and rammed earth buildings: design and construction*”, Tucson: University of Arizona Press 1984.

- GRASSI 1998** F. Grassi, "La ceramica acroma grezza del castello di Rocca San Silvestro nel XII e XIII secolo: rapporti tra impasti e forme", in S. Santoro Bianchi, B. Fabbri (a cura di), *Il contributo delle analisi archeometriche allo studio delle ceramiche grezze e comuni. Il rapporto forma/funzione/impasto*, 1998: 239-246.
- GUERRERO, et alii 2008** E. Guerrero, M. Molist, J. Anfruns. "Houses for the living and for the dead? The case of Tell Halula (Syria)". En AA.VV. (eds.): *Proceedings of the 5th International Congress on the Archeology of the Ancient Near East (ICAANE), Madrid April 3-8 2006. Vol. III*, UAM Ediciones, Madrid 2008: 547-559. ().
- GUERRERO, et alii 2009** E. Guerrero, M. Molist, I. Kuitj, J. Anfruns. "Seated memory: New insights into Near Eastern Neolithic mortuary variability from Tell Halula, Syria", *Current Anthropology* 50/3: 379-391. (2009).
- GUILLAUD 1983** H. Guillaud, "Earth architecture in France: history, localization and prospect", In *Adobe today's earthbuilder*, n.39:30-39. (1983).
- GÜLÇÜR 2000** S. Gülçür. "Norşuntepe: die Chalkolithische Keramik (Elazığ/Ostanatolien)". In C. Marro and H. Hauptmann (eds.), *Chronologies des Pays du Caucase et de L'Euphrate aux IV^e-III^e Millénaires*. IFEA, Varia Anatolica IX, De Boccard, Paris 2000: 473-494.
- HELMI FATMA 1990** M. Helmi Fatma, "Deterioration and conservation of some mud brick in Egypt" In 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990: 277-282.
- HAMAD, HEUGHEBAERT 1986** M. Hamad, J.C. Heughebaert, "The growth of whitelockite". In *Journal of crystal growth*, V.79, 1986: 79-98.
- HELWING 2003** B. Helwing, "Feast as a social dynamic in prehistoric Western Asia: three case studies from Syria and Anatolia", In *Paléorient* 9/1, 2003:99-103.
- HILL, FORTI 1997** C. Hill, Forti P., "Cave mineral of the world", 2°Vol. Huntsville, Alabama, National Speleological Society, 1997, 463.

- HILLMAN 2000** G.C. Hillman, "Abu Hureyra I: the Epipaleolithic". In *Village on the Euphrates: from foraging to farming at Abu Hureyra*. Moore, Gordon Cand Legge, eds. Oxford: Oxford University Press 2000: 327–398.
- HILLMAN et alii 1989** G.C. Hillmann, S. Colledge, D.R. Harris. "Plant-food economy during the Epipaleolithic period at Tell Abu Hureyra, Syria: Dietary diversity, seasonality, and modes of exploitation". In Harris and Hillman Eds. *Foraging and Farming: The evolution of plant exploitation*, London 1989: 249-268.
- HOMSHER 2012** R.S. Homsher, "Mud bricks and the process of construction in the Middle Bronze Age Southern Levant". *Bull. American School of Oriental Research* n. 368, 2012:1-27.
- HORNE 1993** L. Horne, "Occupational and locational instability in arid land settlement. In Cameron and Tomka (eds.). *The Abandonment of Settlements and Regions*. Cambridge University Press, 1993:43-54.
- HOUBEN, GUILLAUD -1989** Guillaud H. & Houben H. (1989). "*Traité de construction en terre*". Marseille (France): Editions Parenthèses.
- 1994** H. Houben, H. Guillaud, "Earth Construction: A comprehensive guide". London 1994.
- 2006** H. Houben, H. Guillaud, "*Traité de construction en terre*". In CRATerre Vol. 1 "*L'encyclopédie de la construction en terre*". Ed Parenthèses. Marseille, 2006.
- HUGHES -1983** R. Hughes. "Techniques and Materials: Material and Structural Behaviour of Soil Constructed Walls". In *Monumentum*, 26 n.3, 1983:175-188.
- 1988** R. Hughes. "The geotechnical study of sils used as structural materials in historic monuments" In Marons and Koukis (eds.), *The engineering geology of ancient work, monuments and historical sites. Preservation and protection*, proceedings of an international symposium, Athens 19-23 Sept. 1988:1041-1048.
- HUOT 1994** J.L. Huot, "*Les premiers villageois se mesopotamie. Du village a la ville*". Paris 1994.

- ILAIWA 1985** Ilaiwa, M. 1985. “*Soil Map of Arab Countries: Soil Map of Syria & Lebanon*”. Damascus. <http://library.wur.nl/WebQuery/isric/20976>.
- JEFFERY 1989** R.B. Jeffery, “*Yemen: a culture of builders*”, Whashington 1989.
- JENKINS, SNYDER 1996** R. Jenkins, R.L. Snyder, “*Introduction to X-ray Powder Diffractometry*” New York: John Wiley and Sons, pp: 287-317.
- JEROME 1991** P. Jerome, “*Analysis and conservation of mudbrick construction in Bronze Age*” Crete, Columbia University, New York 1991.
- JEROME, CHIARI BORRELLI 1999** P. Jerome, G. Chiari and C. Borelli, “*The architecture of mud: construction and repair technology in the Hadhramaut region of Yemen*,” *APT Bulletin*, Vol 30, No 2-3;1999: 39-48.
- JODIN -1966** A. Jodin, « *L’enceinte hellénistique de Volubilis (Maroc)* » in *BACTH* n. 1-2, 1965-1966 :199-222.
- 1967** A. Jodin, « *Les établissements du Roi Juba II aux Îles Pourpuraires (Mogador)* », Tanger, 1967: 6-13.
- 1987** Jodin, *Volubilis Regia Iubae*, Paris, 1987.
- KEEFE 2005** L.Keefe, “*Earth Building: Methods and Materials. Repair and conservation*”. London 2005.
- KEMP 2000** B.J Kemp, “*Soil (including mud-brick architecture)*”. In P.T. Nicholson and I. Shaw, ed., *Ancient Egyptian materials and technology*. Cambridge University Press, Cambridge 2000; pp:78–103.
- KENYON -1957** K.M. Kenyon, “Digging up Jericho: the results of the Jericho excavation, 1952-1956, pp.68. New York: Praeger, 1957.
- 1981** K.M. Kenyon, “*Excavations at Jericho. Vol.3. The architecture and stratigraphy of of the Tell*”. London 1981: British School of Archaeology in Jerusalem.
- KHAMMASH 1986** A. Khammash, “*Notes on village architecture in Jordan*”. Lafayette 1986.

- KÖROĞLU 2010** G.Köröglu, “Un castello Ittita sulla costa Mediterranea:Yumuktepe”. In I. Caneva e G.Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010:65-72.
- KOZLOWSKI 1998** S. Kozlowski, “M’Lefaat: Early Neolithic Site in north Irak. In Cahiers de l’Euphrate n. 8, pp. 179-273. Paris 1998.
- KOZLOWSKI, KEMPISTY 1990** S. Kozlowski, A. Kempisty. “Architecture of the Pre-Pottery Neolithic settlement in Nemrik, Iraq” *World Archaeology* n.21, pp. 348-362. (1990).
- KUIJIT, GORING-MORRIS 2002** Kuijt, I., & A. N. Goring-Morris, “Foraging, farming and social complexity in the Pre-Pottery Neolithic of the south-central Levant: A review and synthesis”. In *Journal of World Prehistory* 16/4, 2002:361-440.
- KUZUCUOĞLU, ROBERTS 1997** C. Kuzucuoğlu, N. Roberts. 1997. “*Evolution de l’Environnement en Anatolie de 20000 à 6000*”. *Paléorient* 23:pp. 7-24.
- LA SALVIA 2008** V. La Salvia, “*Archeometria e Metodologie della Ricerca Archeologica. Dall’analisi settoriale alla ricerca interdisciplinare.*” SOMA 2005. Proceedings of the IX Symposium on Mediterranean Archaeology, Chieti (Italy), 24-26 February 2005. BAR S1739, 2008; pp. 35-38.
- LE FUR 1994** D. Le Fur, “*La conservation des peintures murales des temples de Karnak*” Paris, 1994.
- LÉGUEMENT 1985** R. Léquement, “L’apport des textes antiques», in *Architecture de terre et de bois. L’habitat privé des provinces occidentales du monde romain*”, in Documents d’Archéologie Française n° 2, 1985.
- LEMMONIER 1993** P. Lemonnier, “*Technical Choices: Transformation in material culture since the Neolithic*”. London 1993.
- LENOIR 1985** M. Lenoir, “Le Maroc”, in *Architecture de terre et de bois. L’habitat privé des provinces occidentales du monde romain*, in Documents d’Archéologie Française n° 2, 1985.
- LEVEAU 1993** Ph. Leveau, « *Histoire et archéologie des paysages* », in *Campagnes de la Méditerranée romaine*. Aix-en-Provence, 1993; pp : 13-154.

- LIBEROTTI
et alii 2009** G. Liberotti, A. Alvaro, M.Frangipane, C. Giampaolo, S. Lo Mastro, P. Meloni, R. Quaresima e R. Volpe, “Characterization of the 4th millenium mud-bricks of Arslantepe – Malatya (Turkey)”, In *Mediterra 2009, 1^a Conferenza Mediterranea sull’architettura in terra*, a cura di M. Achenza, M. Correia e H. Guillaud. Manzano (Ud) 2009, 327-335.
- LIBEROTTI,
DANEELS 2012** G. Liberotti, A. Daneels. “Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de la Joya (México) y Arslantepe (Turquía)”. In *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 64 n.1, 2012:79-89.
- LIBEROTTI,
QUARESIMA 2010** G.Liberotti, R. Quaresima, “Building materials in 4th and early 3rd millennium monumental architecture at Arslantepe: mudbricks and plaster” in M. Frangipane (ed.) *Economic Centralisation in Formative States. The archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*, Studi di Preistoria Orientale 3. Roma 2010; pp.73-80.
- LINARES,
HUERTAS &
CAPEL 1983** J. Linares, F. Huertas, J. Capel, J. 1983: “La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento”. Cuadernos de Prehistoria de l’Universidad de Granada 8: pp. 479-490.(1983).
- LIVERANI
-1965** M. Liverani, “I tell pre-classici: Rapporto preliminare della Campagna 1964”, *Missione Archeologica Italiana in Siria 1965*: 107-133.
- 1998** M. Liverani, “*Antico Oriente. Storia, Società, Economia*”, Bari 1988.
- 2004** M. Liverani, “*Myth and Politics in Ancient Near Eastern Historiography*”, London 2004.
- LYONNET 2005** B. Lyonnet, “La présence achéménide en Syrie du Nord”, in P. Briant and R. Boucharlat (eds). *L’archéologie de l’empire achéménide: nouvelles recherches, Actes du colloque organisé au Collège de France par la Réseau International d’études et de recherches achéménide*, 21-22 novembre 2003 (Persika 6), Paris 2005: 129-150.
- LÓPEZ
MARTÍNEZ 1999** F.J. López Martínez, “Tapias y tapias” In *Loggia: Arquitectura y restauración*, N°8, 1999: 74-89.

- LOVE
-2012** S. Love, "The Geoarchaeology of Mudbrick Architecture: A methodological study from Çatalhöyük, Turkey". *Geoarchaeology*. 27, 2012: 140-156.
- 2013a** S. Love, "Architecture as Material Culture: Building form and materiality in the Pre-Pottery Neolithic of Anatolia and Levant". *Journal of Anthropological Archaeology*. 32, 2013: 746-758.
- 2013b** S. Love, "The Performance of Building and Technological Choice Made Visible in Mudbrick Architecture". *Cambridge Archaeological Journal*. 23/2: 2013: 263-282.
- MACKAY 1925** Ernest J. H. Mackay, "Report on the Excavation of the "A" Cemetery at Kish", In *Mesopotamia Part 1*. Chicago: Field Museum of Natural History. (1925).
- MAGWOOD 2014** C. Magwood. "Making Better Buildings". New Society Publishers, Canada 2014.
- MANNONI,
GIANNICHECKDA
1996** T. Mannoni, E. Giannichedda, "Archeologia della Produzione", Torino 1996.
- MANUELLI 2010** F. Manuelli, "Il Bronzo Tardo". In I. Caneva e G. Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010:57-64.
- MARÇAIS 1954** G. Marçais, "L'architecture musulmane d'occident : Tunisie, Algerie, Maroc et Espagne et Sicilie". Paris, 1954.
- MARCHETTI,
BONOMO 2011** N. Marchetti, A. Bonomo, "Taşlı Geçit Höyük: Archeologia di una capitale del Bronzo Tardo" In *Kinku: sigilli dell'età del Bronzo dalla regione Gaziantep in Turchia*. A cura di N. Marchetti. Dipartimento di Archeologia dell'Università di Bologna, 2011 : 42-51.
- MARCOLONGO
2004** B. Marcolongo, "The History of the Mound - 1. Site and landscape formation" I. Caneva, V. Sevin, (eds.), "Mersin-Yumuktepe", a *Rappraisal*". Congedo Editore, Bari 2004: 23-26.
- MARGUERON 1985** J.C. Margueron, "Quelques remarques sur les temples de Mari". In *MARI*, 4. 1985: 487-507.

- MARINELLI 2008** G. Marinelli, "Appendix B. Persian Clay Figurines from Tell Tuqan", in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce 2008: 211-216.
- MARTÍN PÉREZ 1990** A. Martín Pérez, "Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico". Centro de estudios Ramón Areces (ed.), Madrid 1990.
- MARTINI 1889** A. Martini, "La Bibbia. Vecchio e Nuovo Testamento" Vol. I, Milano 1889.
- MATTHEWS 2003** R. Matthews, "Traces of early complexity, late fifth-to early fourth-millennia investigations: the early Northern Uruk period". In R. Matthews (ed.), *Excavations at Tell Brak, Vol.4: Exploring an Upper Mesopotamian Regional Centre, 1994-1996*. British School of Archaeology in Iraq. London 2003:25-38.
- MATTHIAE -1979** P. Matthiae, "Sondages à Tell Touqan (Syrie 1978)", In *Akkadica* 14, 1979: 6-10.
- 1982** P. Matthiae, "Fouilles de 1981 à Tell Mardikh-Ebla et à Tell Touqan: nouvelles lumières sur l'architecture paléosyrienne du Bronze Moyen I-II", In *Académie des Inscriptions et Belles Lettres. Comptes Rendus 1982*: 299-331.
- 2002** P. Matthiae, "A preliminary note on the MB I-II Fortification System at Ebla" In *Damaszener Mitteilungen* 13, 2002: 29-51.
- 2007** P. Matthiae, "La Storia. Dalla preistoria all'Antico Egitto", Novara 2007.
- 2010** P. Matthiae, "Ebla. La città del trono. Archeologia e Storia". Milano 2010.
- 2014** P. Matthiae, "A Note on Tell Tuqan and the Archaic Urbanization in Western Syria. Some Cue for Future Reflections" In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 35-44.

- MATTEINI,
MOLES 1989** M. Matteini, A. Moles, “*La chimica nel restauro: i materiali dell'arte pittorica*”. Ed. Nardini, Firenze 1989.
- MAURY 1988** B. Maury, “L’héritage architectural: formes et fonctions”, in *L’habitat traditionnel dans les pays musulmans autour de la Méditerranée*, rencontre d’Aix-en-Provence, 6-8 juin 1984. IFAO, 1988.
- MAZZONI
-1984** S. Mazzoni, “L’insediamento persiano-ellenistico di Tell Mardikh”, In *Studi Eblaiti* 7, 1984: 87-132.
- 1992** S. Mazzoni, “L’Età del Ferro a Tell Mardikh e nella sua regione”, in S. Mazzoni (ed.), *Tell Afis e l’Età del Ferro* (= *Seminari di Orientalistica* 2), Pisa 1992: 99-155.
- 1998** S. Mazzoni, “*Tell Afis (Siria). Scavi sull’acropoli 1988-1992. The 1988-1992 Excavations on the Acropolis*”, Ed. S.M. Cecchini e S. Mazzoni. *Ricerche di Archeologia del Vicino Oriente* 1, Pisa 1998.
- 2000** S. Mazzoni, “Syria and the Chronology of the Iron Age”, In *Isimu* 3, 2000: 121-138.
- 2001** S. Mazzoni, “Architettura” in *Vicino Oriente Antico Architettura in Storia della Scienza*, Treccani.it 2001.
- 2003** S. Mazzoni, “Tell Afis: a walled town of many phases”, In *Les Annales Archéologiques Arabes Syriennes. Revue d’archéologie et d’histoire* 45-46, 2003: 99-106.
- 2014** S. Mazzoni, “The Archaeology of Tell Afis and the Iron Age II-III in Syria: A Reassessment”. In In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 343-390.
- MAZZONI
et alii 2005** S. Mazzoni, “Tell Afis (Siria) 2002-2004 (=Egitto e Vicino Oriente 28), 2005 Pisa.
- MECCA 2009** S. Mecca “Corbelled earthen dome villages of Syria: from past to sustainable future” In *Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria. An architectural tradition shared by East and West*”. Mecca e Dipaquale (Eds.). Pisa 2009, pp.17-21.

- MECCA,
DIPASQUALE 2009** AA.VV, “*Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria. An architectural tradition shared by East and West*”. Mecca e Dipaquale (Eds.). Pisa 2009.
- MELIS 1993** L. Melis, «*Preparazione dei ladiri ed esecuzione delle murature*», in A. Sanna (a cura di), “*Architetture in terra. Tipologia, Tecnologia, Progetto*”, Cagliari, 1993.
- MELLART
-1967** J. Mellaart, “*Çatal Hüyük, a Neolithic town in Anatolia*”. Ed. Thames & Hudson, London 1967.
- 1981** J. Mellaart, “The prehistoric Pottery from the Neolithic to the beginning of E.B. IV (c. 7000-2500 B.C)” *In The river Qoueiq, Northen Syria, and Its Catchment: Study arising from the Tell Rifà at survey 1977-1979*, Ed. J. Matthers, Oxford: BAR International Series 98, 1981: 131-319.
- MICHEL 1985** Ph. Michel. “Les expérience contemporaines au service de l’archaéologie”, In *Architecture de terre et de bois.L’habitats privé des provinces occidentales du monde romain*, a cura di J. Lasfargues, *Documents d’Archéologie Française* n.2, 1985.
- MILLER 1997** F. Miller, “*The Macrobotanical Evidence for vegetation in the Near East, c. 18000/16000 BC to 4000BC*”. (1997) *Paléorient* 23: pp.197-207.
- MINKE 2010** G. Minke, “*Manual de construcción en tierra*”. EcoHabitar 2010.
- MINNITI 2011** C. Minniti, “Appendix B. Animal bones from Tell Tuqan (2007-2009 excavations seasons)”, in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 323-334.
- MOLIST
-1996** M. Molist, “*Tell Halula (Siria). Un yacimiento neolítico del Valle Medio del Éufrates.Campañas de 1991 y 1992*”. Madrid : Instituto del Patrimonio Histórico Español, Edición del Ministerio de Educación y Cultura. (1996)
- 1998a** M. Molist, “Tell Halula 1997”. *Chronique archéologique en Syrie*, 2, 1998: 133-140. (1998)
- 1998b** M. Molist, “*Espace collectif et espace domestique dans le Néolithique des ixe et viiie millénaires BP au nord de la Syrie : apports du site de Tell Halula (vallée de l’Euphrate)*”. In M. Fortin and O. Aurenche, “*Espace Naturel, Espace Habité en Syrie du Nord (X^e-II^e*

- millénaires av. J-C.)*”. Actes du colloque tenu à l'Université Laval (Quebec) du 5 au 7 mai 1997: 115-130. (1998)
- 1998c** M. Molist, “Des représentations humaines peintes au IX^e Millénaire BP sur le site de Tell Halula (Valeé de l’Euphrate, Syrie) (1998).
- 2001a** M. Molist, “*Halula, village néolithique en Syrie di Nord*”. In Guilaine J. Ed. Communautés villageoises du Proche Orient à L’Atalntique (8000-2000 avant notre ère. Paris: Ed. Arrance 2001: 35-52.
- 2001b** M. Molist, “*Novedades de la investigación de los orígenes da las sociedades agrícolas en el Proximo Oriente: El medio Éufrates sirio y su rol en el proceso de neolitización*”. In Montero et al. (ed.) “*De la estepa al Mediterráneo*” Actas del I^{er} Congreso de Arqueología e Historia Antigua del Oriente Próximo. Barcelona: Ediciones Eridu. 2001: 173-189.
- 2013** AA.VV. In “*Tell Halula: un poblado de los primeros agricultores en el valle del Éufrates, Siria*” Coordinador: Miquel Molist. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Tomo I. 2013; Capitulo: 2-3-5.
- MOLIST, CAUVIN 1991** M. Molist, J. Cauvin, “Les niveaux inférieurs de Cafer Höyük (Malatya, Turquie). Stratigraphie et architectures (fouilles 1984-86)”. *Cahiers de l’Euphrate*, 5-6, 1991: 85-113.
- MOLIST et alii -2007** M. Molist, J. Anfruns, F. Borrell, X. Clop, W. Cruells, A. Gómez, E. Guerrero, C. Tornero, M. Saña, “*Tell Halula (Vallée de l’Euphrate, Syrie): Nouvelles données sur les occupations Néolithiques, Notice préliminaire sur les travaux 2002–2004*”. In: Abdul Massih, J. (Ed.), Résultats du programme de formation à la sauvegarde du patrimoine culturel de Syrie 2002–2004. Doc. d’Archéologie Syrienne XI, Damas, 2007: 21–46.
- 2014** M. Molist, A. Gómez Bach, M. Bofill, W. Cruells, J.M. Faura, C. Marchiori, J. Martín, “Maisons et constructions d’habitation dans le néolithique. Une approche à l’évolution des unités d’habitat domestiques à partir des documents de Tell Halula (Vallée de l’Euphrate, Syrie)”. In : Montero- Fenollós, J. L. Redonner Vie Aux Mésopotamiens. *Mélanges offerts en Hommage a Jean Claude Margueron*. 2012 : 107-126.

- MOLIST,
FAURA 1999** M. Molist, J.M. Faura, “*Tell Halula: Un village des premiers agriculteurs-eleveurs dans la Vallée de L’Euphrate*” In: Olmo Lete G. & Montero Fenollos J.-L. *Archaeology of The Upper Syrian Euphrates. The Tishrim Dam Area*. Proceedings if the International Symposium Barcelona, 1999: 27-40.
- MOLIST,
STORDEUR 1999** M. Molist, D. Stordeur. “*Le Moyen-Euphrate syrien et son rôle dans la néolithisation. Spécificité et évolution des architectures*”. In: Olmo Lete G. & Montero Fenollos J.-L. *Archaeology of The Upper Syrian Euphrates. The Tishrim Dam Area*. Proceedings if the International Symposium Barcelona, 1999: 395-412.
- MONGE
et alii 2013** G. Monge Gómez, M. Pozo Rodríguez, M.I. Carretero León, C. Barroso, D. Botella, “Origen de whitlockita en la Cueva del Ángel de Lucena (Córdoba, España)” In *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, n°17, Junio 2013: 77-78.
- MORALES,
MUJICA,
UCEDA 2006** R. Morales, E. Mujica, S. Uceda, “*Investigaciones en la Huaca de la Luna 2000*”, in Proyecto arqueológico Huacas del Sol y de La Luna. Trujillo 2006.
- NAKAMURA
et alii 1989** T. Nakamura, K. Sameshima, K. Okunaga, Y. Sugiura and J. Sato, “Determination of amorphous phase in quartz powder by X-ray powder diffraction” In *Powder Diffraction* 4, 1989: 9-13.
- NARICI 2001** B. Narici, “Tecniche di costruzione in terra cruda”, In G. Scudo, B. Narici e C. Talamo *Costruire con la terra - Tecniche costruttive, campi di utilizzo e prestazioni*, Esselibri, Napoli, 2001: 9-13.
- NEWTON 2004** J. Newton, “The Environmental Setting”. In *Archaeology at the North-East Anatolian Frontier* I. Ed. A. Sagona, C. Sagona, Ancient Near Eastern Studies, Supplement 14. Louvain: Peeters.2004: 99-110.
- NODAROU,
FREDERICK,
HEIN 2008** E. Nodarou, C. Frederick, A. Hein, “Another (mud)brick in the wall: Scientific analysis of Bronze age earthen construction materials from east Crete”. In *Journal of Archaeological Science*, 35, 2008: 2997–3015.
- NOY 1977** T. Noy, “Nahal Oren”, In *Encyclopedia of archaeological excavations in the holy land*, Vol. III, 1977: 898-907.

- O'CONNOR, CHANG 1986** B.H. O'Connor, W.J. Chang "The amorphous character and particle size distributions of powders produced with the micronizing mill for quantitative X-Ray powder diffractometry". In *X-ray Spectrometry* 15, 1986: 267-270.
- OLCESE 2000** G. Olcese, Voce: "Archeometria", in *Dizionario di Archeologia* a cura di R. Francovich e D. Manacorda. Bari 2000: 24-29.
- ONNIS et alii 2009** S. Onnis, M. Paglini, L. Rovero, U. Tognetti. "Analyse constructive et structurale des coupes "à encorbellement" e terre dans la région d'Alep" in *Mediterra 2009 1° Conferenza sull'Architettura in terra cruda*. Monfalcone 2009: 85-97.
- ORGEOLET 2009** R. Orgeolet, "Les structures architecturales en terre crue de la protohistoire égéenne: de la fouille à l'identification" A cura di Achenza, Correia e Guillaud. *Mediterra 2009. 1° Conferenza Mediterranea sull'Architettura in terra cruda*. Monfalcone 2009: 159-168.
- ORSINI 1802** M. Vitruvio Pollione "*Dell' Architettura*", 10 Libri tradotti in lingua italiana da Baldassarre Orsini, Perugia 1802.
- ORTIZ 2014** A. Ortíz, "*Estudio arqueo-antropológico de las sepulturas del PPNB Medio y Reciente del yacimiento de Tell Halula (Valle Medio del Eufrates, Siria)*" <http://hdl.handle.net/10803/133316>.
- ÖZDOĞAN, ÖZDOĞAN 1989** M. Özdoğan e A. Özdoğan, "Çayönü. A conspectus of recent work", In *Paléorient*, 15/1, 1989: 65-74.
- ÖZGEN et alii 1999** E. Özgen, B. Helwing, A. Engin, O. Niewenhuyse e R. Spoor. "Oylum Höyük 1997-1998 die Spätchalkolithische auf der Westterrasse" In *Anatolia Antiqua* 7. 1999: 19-67.
- O'ROURKE 1983** M.K. O'Rourke, "Pollen from adobe brick". In *Journal of Ethnobiology* 3, 1983:39-48.
- PAEPE et alii 1978** R. Paepe, H. Gasche, L. de Meyer, "The Surrounding Wall of Tell ed-Der in Relation to the Regional Fluvial System". In *Tell ed-Der II*, L. de Meyer (ed.), Louvain: Editions Peeters 1978: 1-32.
- PALUMBI -2010** G. Palumbi, "L'Età del Bronzo". In I. Caneva e G. Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 51-56.

- 2011** G. Palumbi, "The Calcolithic of Eastern Anatolia" In *The Oxford Handbook of Ancient Anatolia*. Edited by S.R. Steadman, G. McMahon. Ch. 9, 2011: 205-226.
- PARROT 1960** A. Parrot, "*Sumer*" Paris, 1960.
- PAVÓN MALDONADO 1993** B. Pavón Maldonado, "*Tratado de arquitectura hispanomusulmana II. Ciudades v fortalezas*", CSIC, Madrid 1993.
- PEYRONEL -2008** L. Peyronel, "The Lower Town. Area P", in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2006-2007*, Galatina-Lecce 2008: 21-60.
- 2011** L. Peyronel, "The Lower Town. Area P", in F. Baffi (ed.), *Tell Tuqan. Excavations 2008-2010*, Galatina-Lecce 2011: 61-139.
- 2014** L. Peyronel, "Living Near the Lake. The Matkh Region (Syria) during the Early and Middle Bronze Ages" In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014:115-162.
- PETERS, SCHMIDT 2004** J. Peters and K. Schmidt, "Animals in the Symbolic World of Pre-Pottery Neolithic Göbekli Tepe, South-Eastern Turkey: A preliminary assessment" in *Anthropozoologica* n. 3; 2004: 179-218.
- PICARD 1959** G. Picard, "*La civilisation de l' Afrique romaine*", Parigi, 1959.
- PINNOCK 2004** F. Pinnock, "*Lineamenti di archeologia e storia dell'Arte del Vicino Oriente antico, ca 3500-330a.C. Mesopotamia, Anatolia, Siria, Iran, Palestina*", Parma, 2004.
- PIQUÉ 2013** R. Piqué, "Paisaje y aprovechamiento del combustible en Tell Halula entre 8500-7300 cal ANE". In "*Tell Halula: un poblado de los primeros agricultores en el valle del Éufrates, Siria*" Coordinador: Miquel Molist. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Tomo II. 2013: 390-396.
- PITTALUGA 2012** D. Pittaluga, "Earth and bricks architecture: For conservation of stratigraphical traces". In *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds). London 2012: 699-704.

- POLLOCK 1999** S.M. Pollock. “*Ancient Mesopotamia: The Eden that Never Was*”. Cambridge University Press 1999.
- POVIA 2009** Intervista al Dott. Mauro Povia, In “*Oltre i materiali. La scienza tra le nostre dita. Quaranta storie di lavoro e formazione*”, A cura di L.M. Catena e I. Davoli, Milano 2011: 93-95.
- POZO 1996 et alii** M. Pozo, J. Casas, A. Moreno, J.A Martín Rubì, J.A. Medina. “*Estudio mineralógico, textural y químico de restos de cerámica Halaf en el valle del río Balih (Norte de Siria)*”, *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 19 ,1996: 85-99.
- POYATO, VELASQUEZ 1989** C. Poyato, A. M. Velasquez. “*Introducciones a la arqueología: IIº millennio nel Próximo Oriente*”. Madrid 1989.
- POWELL 1982** M.A. Powell, “Metrological Notes on the Esagila Tablet and Related Matters: Appendix II: Bricks as Evidence for Metrology” In *ZfA* 72, 1982:116-123.
- QUARTA, MARCHIORI, MELICA 2014** G. Quarta, C. Marchiori, D. Melica. “Archaeometric Study of Mud Bricks from Excavations of Tell Tuqan: Preliminary Results” In F. Baffi et al. (eds), *Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period, Proceedings of the International Conference May 15th-17th 2013 – Lecce*. Lecce 2014: 517-540.
- REICH 1992** R. Reich, “Building Materials and Architectural Elements in Ancient Israel” In *The architecture of Ancient Israel from the prehistoric to the Persian Periods in Memory of Immanuel (Munya) Dunayevsky*. Jerusalem Israel Exploration Society, 1992.
- RENFREW, BAHAN 1995** C. Renfrew e P. Bahan, “*Archeologia. Teorie, metodi, pratica*”, Bologna, 1995.
- RETALLACK 1990** G.J. Retallack, “*Soils of the past: An Introduction to Paleopedology*”. Boston, 1990.
- REVAULT 1967** J. Revault, *Palais et demeures de Tunis*, Paris, 1967.

- RICCARDI et alii 1999** M.P. Riccardi, B. Messiga, P. Duminico. "An approach to the dynamics of clay firing". In *Applied Clay Science*, 15, 1999: 393-409.
- ROBBIN, STIPP 1979** D.M. Robbin, J.J. Stipp. "Depositional rate of laminated soilstone crust, Florida Keys". In *Journal of Sedimentary Petrology Research* 49, 1979 Florida: 175-178.
- ROODENBERG 1986** J.J: Roodenberg, "*Le mobilier en pierre de Bouqras. Utilisation de la pierre dans un site neolithique sur le moyen Euphrates (Syrie)*", Nederlands Historisch Archaeological Institut of Istambul. (1986).
- ROSEN 1986** A. M. Rosen, "*Cities of Clay: The Geography of Tells*". Butzer and L. G. Freeman (eds.). Prehistoric Archaeology and Ecology Series. Chicago: University of Chicago Press. (1986)
- ROTHMAN 2001** M.S. Rothman, "The local and the regional: introduction". In *Uruk Mesopotamia and its Neighbors: Cross-cultural Interactions in the Era of State Formation*, Edited by Rothman SAR Press, Santa Fe, 2001:3-26.
- ROVERO 2011** L. Rovero, "*Experimental analysis for determining the mechanical properties fo earthen materials*" In *Earth - lands: earthen architecture of Southern Italy*. Ed. S. Mecca & G. Lotti; Pisa, 2011: 105-115.
- SADOZAI 2012** C. Sadozai, "*Regards croisés sur la conservation d'une architecture de terre millénaire: à partir du cas d'Ulug Dépé (Turkménistan)*". École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, 2012:95.
- SANNA, ATZENI 2008** U. Sanna, C. Atzeni " Il materiale terra". In *Il manuale tematico della terra cruda. Manuali di recupero dei centri storici della Sardegna*, A cura di M.Achenza e U.Sanna. Cagliari 2008: 1-26.
- SAÑA -1999** M. Saña, "*Arqueología de la domesticación animal. La gestión de los recursos animales en Tell Halula (Valle del Éufrates-Siria) del 8.800 al 7.000 BP*", *Treballs d'Arqueologia del Proxim Orient*, 1, Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona. (1999).
- 2000** M. Saña, "*Animal resource management and the process of animal domestication at tell Halula (Euphrates Valley) from 8800 to 7800 BP*", in: in M. Mashkour, H. Buitenhuis, A.M. Choyke, F. Poplin (Eds.).

- Archaeozoology of the Near East. IV. *Proceedings of the fourth international symposium on the archaeozoology of southwestern Asia and adjacent areas*. Gröningen, Archaeological Research and Consultancy. 2000: 241-263.
- SAÑA,
HELMER 1999** M. Saña & D. Helmer, “The process of animal domestication in the North of the Euphrates Valley (Siria). Socio-economic implications”, in: G. del Olmo Lete, J.L. Montero Fenollos (Eds.). *Archaeology of the Upper Syrian Euphrates. The Tishrin Dam area*. Barcelona, Editorial AUSA. 1999: 257-278.
- SANTARELLI,
SPREAFICO 2013** M.L. Santarelli and G. Spreafico, “Archaeometrical Analysis of Architectural Components of Royal Palace G”, In *Ebla and its Landscape. Early State Formation in the Ancient Near East*. Ch:32, 2013: 367-377.
- SANTARINI 2013** F. Santarini, “*Tadelakt nel segno del lusso da Marrakech alla Garfagnana*”. In rivista *Living*, Luglio 2013:151-152.
- SARACCO 2011** M. Saracco “*Architettura in terra cruda. Il caso delle marche: dallo studio al restauro*”. Firenze 2011.
- SAUVAGE 1998** M. Sauvage, “*La brique et sa mise en oeuvre en Mesopotamie. Des origines à l'époque achéménide*”, Paris 1998.
- SCARRE 2005** C. Scarre, “*The Human Past-World Prehistory & the Development of Human Societies*”. London: Thames and Hudson, 2005.
- SCHIMER 1990** W. Schimer, “Some aspects of building at the aceramic-neolithic settlement of Çayönü Tepesi, in *World Archaeology*, 21/3, 1990:363-397.
- SCUDO,
NARICI E
TALAMO 2001** G. Scudo, B. Narici, C. Talamo “*Costruire con al terra. Tecniche costruttive, campi di utilizzo e prestazioni*”. Napoli 2001.
- SEEHER 2007** J. Seeher, “*Mudbrick City Wall at Hattusa: Diary of a Reconstruction*”, Ege Yayınları, Istanbul 2007.
- SETON
WILLIAMS 1967** M. V. Seton-Williams, “The Excavations at Tell Rifa'at” In *Iraq*, vol. 21, 1967: 16-33.

- SEVIN, KÖROĞLU 2004** V. Sevi, K. Köroğlu, "Late Bronze Age at Yumuktepe: an overview", In I. Caneva, V. Sevin, (eds.), "*Mersin-Yumuktepe*", a *Rappraisal*". Congedo Editore, Bari 2004: 73-84.
- SHAFFER 1993** Gary D. Shaffer. "An Archaeomagnetic Study of a Wattle and Daub Building Collapse." *Journal of Field Archaeology* 20(1), 2013: 59-75.
- SIMMS 1988** S.R. Simms, "The archaeological structure of a bedouin camp", in *Journal of Archaeological Science*. (1988).
- SLIM 1985** H. Slim, "*La Tunisie*", In *Architecture de terre et de bois. L' habitat privé des provinces occidentales du monde romain*, Documents d' Archéologie Française n° 2, 1985.
- SORBY 1858** H.C. Sorby, "On the Microscopical Structure of Crystal, Indicating the Origin of Minerals and Rocks", In *Quarterly Journal GSL* 14, 1858:453-500.
- SPENCER 1979** A. J. Spencer, "*Brick Architecture in Ancient Egypt*". Warminster: Aris & Philips (1979).
- STARK 1998** M. Stark, "*Technical choices and social boundaries in material culture patterning: an introduction*". In Stark M. (Ed.) *The Archaeology of Social Boundaries*. Washington 1998: 1-11.
- STEVANOVIC 1997** M. Stevanovic, "The age of clay: the social dynamics of house destruction" In *Journal of Anthropological Archaeology* 16: 334-395. (1997).
- STORDEUR et alii 2000** D. Stordeur, M. Brenet, G. Der Arahamian, G. J.C. Roux, "*Les bâtiments communautaires de Jerf el Ahmar et Mureybet. Horizon PPNA. (Syrie)*". *Paléorient*, 26/1, 2000: 29-44.
- 2010** D. Stordeur, "Bricks: The Pre-History of an Invention" In *Kulturlandschaft Syrien. Zentrum und Peripherie*, J.W. Meyer ed., *Alter Orient und Altes Testament*, Band 37. Ugarit Verlag, Münster 2010:533-557.
- SWEET 1974** L.E. Sweet "*Tell Ṭ oqaan: A Syrian Village*," (Anthropological Papers 14, Museum of Anthropology, University of Michigan), Ann Arbor, 1974.

- TERRENATO 2000** N. Terrenato. Voce: “*Campionatura*”, in Dizionario di Archeologia a cura di R. Francovich e D. Manacorda; Bari 2000: 47-49.
- THÈBERT 1986** Y. Thébert, “Vita privata e architettura domestica nell’ Africa romana”, in AA. VV. *La vita privata dall’ impero romano all’ anno Mille*, vol. I, Roma-Bari, 1986.
- TOKAY 2010** Z.H. Tokay, “Una tradizione architettonica dalla Preistoria ad oggi: la tecnica a incannucciata e la casa “Huğ” In I. Caneva e G.Köröglu (eds.) *Yumuktepe. Un villaggio di novemila anni*. Istanbul 2010: 51-56.
- TOURI 1988** A. Touri, «*Dār Al-Mas ‘Udiyyinà Fez*», In *Habitat traditionnel dans les pays musulmans autour de la Méditerranée* : actes des séminaires des 6 et 8 juin 1984 d’Aix-en-Provence, Le Caire : IFAO, 1988.
- TORRACA, CHIARI, GULLINI 1972** G. Torraca, G. Chiari, and G. Gullini, “*Report on Mud Brick Preservation*” *Mesopotamia* 1972 No.7, 1972: 259-286.
- TWISS 2007** K. Twiss, “The Neolithic of the southern Levant.” *Evolutionary Anthropology* 16(1), 2007: 24-35.
- UMURTAK 2000** G. Umurtak, “A building type of the Burdur Region from the Neolithic Period” In *Bulleten 1*, n.241. 2000: 683-706.
- VAEZI et alii 2011** A.R.Vaezi, H.A. Bahrami, S.H.R. Sadeghi, and Mahdian, M.H. “Developing a Nomograph for Estimating Erodibility Factor of Calcareous Soils in North West of Iran.” In *International Journal of Geology* 5: 2011: 93–100.
- VAN GRIEKEN, MARKOWICZ 2002** R.E. Van Grieken and A.A. Markowicz, of “*X-RAY SPECTROMETRY*”, Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, Eds., Handbook. New York 2002.
- VAN LIERE 1965** W.J. Van Liere, “*Classification and rational utilization of soils, Report to the government of Syria*”. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). EPTA Report no 2075. Rome 1965.
- VAN ZEIST, BOTTEMA 1991** W. Van Zeist, S. Bottema. “*Late quaternary vegetation of the near east*”. Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients 18: 1991: 11–156.

- VECCHIATINI 1996** R. Vecchiatini, “*Le lavorazioni per l’ edilizia : la produzione della calce*” in E. Giannichedda (a cura di), “*Antichi Mestieri*”, Genova, 1996.
- VEGAS, et alii 2011** F. Vegas, C. Mileto, V. Cristini, “*Earthen Architecture in Spain*”. In Aa.Vv. *Terra Europae - Earthen Architecture in the European Union*, 2011: 181-183.
- VEGAS, MILETO 2008** F. Vegas, C. Mileto, “*Homo faber: architectura preindustriale del Rincón de Ademuz*”. Casas Altas, 2008.
- VEGAS et alii 2009** F. Vegas, C. Mileto, V. Cristini, L. Dipasquale, “*Urban and architectural analysis*” In *Earthen Domes and Habitats. Villages of Northern Syria. An architectural tradition shared by East and West*”. Mecca e Dipasquale (Eds.). Pisa 2009: 163-166.
- VIDALE 1992** M. Vidale, “*Produzione artigianale protostorica. Etnoarcheologia e archeologia*”, Saltuarie dal laboratorio del Piovego 4, Padova 1992.
- ZOARI 1988** A. Zouari, “*Le Dār Jallūli et le Dār Hintāti à Sfax*” in *L’habitat traditionnel dans les pays musulmans autour de la Méditerranée*, rencontre d’Aix-en-Provence, 6-8 juin 1984. Le Caire : IFAO, 1988.
- WANG 1992** J. Wang, “*Neolithic fishing hunting economy in the yellow valley*”. In *Huaxia Archaeology*, 1992:81-88.
- WARREN 1999** J. Warren, “*Conservation of Earth Structures*”. London : Butterworth-Heinemann 1999.
- WATSON 1982** P. Watson. Revue de Aurenche Olivier 1981. “*La Maison Orientale. L’Architecture du Proche-Orient ancien des origines au milieu du IVe millénaire.*”, *Paléorient*, vol. 8, n° 2, 1982: 111-112.
- WEISMANN, BRYCE 2008** A. Weismann, K. Bryce. “*Using Natural Finishes: Lime and Earth Based Plasters, Renders & Paints (Sustainable Building)*”. Green Book Ltd. 2008.
- WILCOX, FORNITE 1999** G. Wilcox & S. Fornite. “*Impressions of wild cereal chaff in pise from the 10th millennium uncal B.P. At Jerf Ahmar and Mureybet: Northern Syria*”. *Vegetation History and Archaeobotany*, Vol. 8; 1999: 21–24.
- WRIGHT G.H.R -1985** G.H.R Wright, “*Ancient Building in South Syria and Palestine*” Leiden-Köln, Brill 1985.

- 2000** G.H.R Wright, “*Ancient Building Technology*”. I Vol. Historical background (Technology and Change in History 4). Leiden, Boston and Köln, Brill 2000.
- 2003** G.H.R Wright, “Survey of preclassical architecture in the Levant”. In Richard (ed.) *Near Eastern Archaeology: A Reader*. Eisenbraun, Winona Lake, 2003: 88-104.
- 2005** G.H.R Wright, “*Ancient Building Technology*”, II Vol. Materials. Leiden-Köln, Brill 2005.
- WRIGHT,
JOHNSON 1975** H. T. Wright, G.A. Johnson, “*Population, Exchange, and Early State Formation in Southwestern Iran*” In *American Anthropologist* n.77, 1975: 267-289.
- WULFF 1966** H. Wulff, “*The Traditional Crafts of Persia: Their Development, Technology, and Influence on Eastern and Western Civilizations*” M.I.T. press, Cambridge 1966.
- YON,
CALLOT 1997** M. Yon, O. Callot, “L’habitat à Ougarit”, In *Les maisons dans la Syrie Antique du III millénaire aux débuts de l’Islam*, Bayrouth, 1997.
- YUSTE 2010** B. Yuste, “*Arquitectura de Tierra. Caracterización de los tipos edificatorios*” Director: Gabriel Barbeta. Máster de Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech 2010.

LISTE FIGURE E TAVOLE

Fig. 2.1 – Imagen del yacimiento arqueológico de <i>Chan Chan</i> en Trujillo (Perú), donde se puede ver la fuerte restauración.....	26
Fig.2.2 Expansión de la arquitectura en tierra en el mundo. (Imagine elaborada da Galdieri 1992).....	29
Fig. 2.3 – Ziqqurat di Ur-Nammu 2100-2000 a.C. (http://arte-immagine.weebly.com/arte-mesopotamica.html).....	31
Fig. 2.4 – Imagen del complejo religioso de <i>Göbekli Tepe</i>	34
Fig. 2.5 – Imagen de la torre de <i>Jericho</i>	34
Fig. 2.6 – Imagen de una casa en la provincia de Konya.....	39
Fig. 2.7 - Bañeras de basalto antiguas reutilizadas para la preparación de morteros a base de cal para los enlucidos en la ciudad de Rasm Hamd (Alepo - Siria).....	41
Fig. 2.8 – Imagen de la Ciudad de Sana’a in Yemen.....	43
Fig. 2.9 – Imagen de los restos de una construcción con techo en bóveda que no presentan refuerzos de madera en el pueblo de Rasm Hamd.....	45
Fig. 2.10 – Imagen de restos de casa con base de piedra en un pueblo de la región de Alepo.....	51
Fig. 2.11 – Los diferentes tipo de fundaciones (Imagen de Gasche et Birschmeier 1981:16).....	55
Fig. 2.12 – Esquema de las técnicas constructivas en tierra en el mundo. (Imagen Houben-Guillaud 2006:15).....	58
Fig. 2.13 –Adobe en relieve de Babilonia.....	59
Fig. 2.14 – Encofrados distintos para barro apisonado “tapial”. (Imagen de Minke 2010:61).....	64
Fig. 2.15 – Tipología diferente de pisones utilizados para compactación manual y técnica de construcción manual.....	66
Fig. 2.16 – Particular de pintada funeraria egipcia que representa la fabricación, el transporte y la construcción con adobe (Imagen de Martini 1889:99).....	68

Fig. 2.17 – Método de fabricación del adobe en Siria. (Imagen de Mecca-Dipasquale elaborada).....	69
Fig. 2.18 – Adobes en desecación en un pueblo sirio.....	73
Fig. 2.19 – Copia del adobe “Hog-Backed” de Jericho. (©Brick Museum at General Shale Brick – Bristol).....	74
Fig. 2.20 – Kisû del templo d’Ištar-Kititum à Ischali (Imagen de Sauvage 1998:56 elaborada).....	78
Fig. 2.21 – Manutención del revestimiento aplicando una capa nueva de tierra mezclada con agua y paja en un pueblo sirio. (Imagen de Mecca-Dipasquale 2009:351).....	81
Fig. 2.22 – Reconstrucción de una casa neolítico de <i>Çhatal hüyük</i> con el acceso por la azotea.....	83
Fig. 2.23 – Particular de la decoración de la Puerta Azul de Babilonia.....	84
Fig. 2.24 - Imagen de un ammán marroquí construido con la técnica del tandelkat. (http://www.chreon.org/artigianiedili.it/wp-content/uploads/2013/02/hammam-tadelakt-0031.jpg)	87
Fig. 2.25 – Imagen de la sala tripartida del yacimiento de <i>Yumuktepe</i> con pavimentación en adobes...88	
Fig. 3.1 – Quadro cronologico per l’evoluzione neolitica del Vicino Oriente. (Foto da Aurenche-Kozlowski 2003).....	93
Fig. 3.2 – A sinistra la fase antica di <i>Jerf el Ahmar</i> caratterizzata da case monocellulari a pianta circolare, a destra la fase più recente caratterizzata da case pluricellulari a pianta quadrangolare. (Foto <i>Mission El Kowm-Mureybet</i>).....	97
Fig. 3.3 – Piante in scala 1:200 di strutture abitative del Neolitico Preceramico B. Immagini A,B,C piante di <i>Çayönü</i> ; D pianta di <i>Nevalî Çori</i> ; E pianta di <i>Cafer Hüyük</i> e F, G piante di <i>Jericho</i> (Immagine elaborata da Aurenche 1981 e Frangipane 1996).....	102
Fig. 3.4 – Pianta con i maggiori centri dell’Età del Bronzo nel Vicino Oriente Antico. (Foto da Baffi 2006a:10).....	103
Fig. 3.5 – Visione da sud del Tempio della Rocca di Ebla/Tell Mardikh (Bronzo Antico IV A, 2400-2300 a.C.) (©Ebla-Chora-MAIS).....	104

Fig. 3.6 – Diverse tipologie di apparecchiatura muraria individuate nel Vicino Oriente. (Foto da Aurenche 1981).....	111
Fig. 3.7 - In queste immagini sono visibili i diversi tipi di copertura presenti nella regione dell'alta Siria: A) Tetto inclinato (TAAM); B) Tetto piatto (XASHAB); C) Tetto a cupola (QABBII).....	115
Fig. 3. 8 – Foto particolare di una copertura a cannicciata.....	116
Fig. 3.9 – Sopra il villaggio di di Rasm Hamd e sotto alcuni resti archeologici.....	119
Fig. 4.1 – Sopra lo schema delle principali trasformazioni delle rocce. A fianco le fasi costituenti un terreno.....	126
Fig. 4.2 – Schema dei componenti essenziali di un diffrattometro per polveri. In questo strumento il portacampione ruota di un angolo (Φ°), mentre il braccio che porta il contatore ruota di un angolo $2(\Phi^\circ)$. (Immagine da http://www.mineraldata.org/mineral/cristallografia/cristallografiar).....	139
Fig. 4.3 – Schema dei componenti essenziali di un analizzatore per fluorescenza raggi-X. (Foto da http://www.mineraldata.org/mineral/generalita/metodi).....	141
Fig. 5.1 – Mapa de Siria con algunos yacimiento citado en este trabajo y el actual ciudad de Alepo...157	
Fig. 5. 2 – Foto final general de la casa 4H y 4EF donde se puede ver la división del espacio interior...165	
Fig. 5.3 – Planimetría con la casa donde se ha cogido muestra para los análisis sobre el adobe y la técnica de construcción en tierra.....	168
Fig. 5.4 – Foto de la estructura de canalización (4DE276) descubierta en la casa 4D en el año 2011...170	
Fig. 5.5 – Particular del enlucido interior en la casa 4EF.....	173
Fig. 5.6 –Particular de una placa de cocción rellena con piedra.....	174
Fig. 5. 7 – Imagen de la impresión negativa en la estructura E38.....	176
Fig. 5.8 – Foto de la casa 4H.....	178
Fig. 5.9 –Particular del desmontaje de los brazos de la estructura E251.....	182
Fig. 5.10 – Particular del desmontaje de la estructura <i>grill plan</i> E253.....	183

Fig. 5.11 – Estructura rectangular E252 de la casa 4H y foto particulares del desmontaje.....	184
Schede di catalogazione del campionamento di Tell Halula.....	188
Fig. 6.1 – In alto a sinistra un’immagine dei cambiamenti di corso del fiume; a destra la foto aerea di Yumuktepe di circa 40 anni fa; in basso la città di Mersin oggi. (Foto elaborata da Caneva-Köröglü 2010:11).....	212
Fig. 6.2 – La casa ad abside del Neolitico Tardo (Foto elaborata da Caneva-Köröglü 2010:27).....	216
Fig. 6.3 – Posizione dei diversi resti architettonici dei Livelli XVI-XV, attraverso l’utilizzo delle piante, rinvenuti sul pendio della collinetta nella parte nord-ovest. (Foto da Caneva et alii 2012:376).....	219
Fig. 6.4 – Foto del complesso architettonico del Livello XV rinvenuto nella zona nord-ovest della collina.....	220
Fig. 6.5 – Pianta del complesso architettonico del Livello XV rinvenuto nella zona nord-ovest della collina. (Immagine da Caneva <i>et alii</i> 2012: 379).....	221
Fig. 6.6 – Foto di alcune delle ciotole <i>Coba</i> rinvenute nell’edificio tripartito del Livello XV.....	223
Fig. 6.7 – La casa incannucciata che era presente, fino al 1998, ai piedi del sito archeologico. (Foto da Tokay 2010:119).....	227
Fig. 6.8 – Immagini d’impronte d’incannucciata sia all’interno della stratigrafia come si vede nelle prime due foto, sia sopra qualche elemento strutturale con ipotizzabile funzione di copertura o solaio.....	230
Schede di catalogazione del campionamento di Yumuktepe.....	234
Fig. 7.1 – Massima espansione del bacino lacustre negli ultimi anni. CORONA (1969) Satellite image of the western Matkh depression with Tell Tuqan. (©Ebla-Chora-MAIS).....	247
Fig. 7.2 – Cartina geologica del territorio intorno a <i>Tell Tuqan</i> (Foto modificata in Quarta, Marchiori e Melica 2014, proveniente da Samman S. Soviet Geologists of V/O Technoexport, Wageningen UR Library).....	250
Fig. 7.3 – Tipologia di suoli attorno al sito di <i>Tell Tuqan</i> . (Foto modificata in Quarta, Marchiori e Melica 2014, proveniente da Arnoldus-Huyzendveld 2013:334).....	251
Fig. 7.4 – Immagine satellitare presa da Google Earth, dove si vedono i tre siti archeologici.....	253

Fig. 7.5 – Pianta topografica di <i>Tell Tuqan</i> dove si possono osservare le aree di scavo indagate e la conformazione della collina con la separazione tra la città alta (acropoli) e la città bassa. (Foto da F.Baffi et alii eds. <i>Tell Tuqan Excavations and Regional Perspectives Cultural Developments in Inner Syria from the Early Bronze Age to the Persian/Hellenistic Period</i> , 2014:Pl.I).....	255
Fig. 7.6 – Foto di scavo dell’Area P con diverse strutture d’immagazzinamento e un livello pavimentale di Fase 6 del Bronzo Antico III (Foto da Peyronel 2011:68).....	257
Fig. 7.7 – Visione generale dello scavo in espansione dell’Area Q del Ferro III. In alto la pianta generale dell’area, in basso a sinistra una foto del Locus 874 e Locus 875, mentre a destra un particolare del ritrovamento di pesi da telaio all’interno di due nicchie. (Foto da Fiorentino & Marinelli 2011:175,179,180).....	260
Fig. 7.8 – Due figurine persiane rinvenute nella città alta. A sinistra la foto di una figurina di uomo barbuto rinvenuto nell’area C, a destra il disegno della figurina di donna con abito lungo rinvenuta nell’area Q. (Foto da Marinelli 2008:212).....	261
Fig. 7.9 – Pianta del Palazzetto persiano T1, con distinzione grafica delle tre fasi costruttive.....	263
Fig. 7.10 – Sopra la pianta de settore settentrionale dello scavo in Area P. Sotto, a sinistra, è visibile la strada L.783 e i resti di strutture domestiche in fase con l’utilizzo di quest’ultima. A destra una foto di particolare di una delle due abitazioni rinvenute a nord della strada. (Peyronel 2011:83-85).....	265
Fig. 7.11 – Foto dell’area N dove sono visibili strutture abitative domestiche (HouseN3) assieme a resti di sepoltura a pozzetto, in giara e una tomba parzialmente costruita. (Ascalone 2011:33).....	266
Fig. 7. 12 – Foto del Palazzetto Persiano T1. A sinistra un’immagine della parte orientale mentre a destra è visibile il muro esterno settentrionale.....	268
Fig. 7.13 – Foto Casa Q3 rinvenuta nell’Area Q dell’Età del Ferro III che presenta i muri costruiti con mattoni di diverso colore. Alla base i mattoni sono grigi e l’elevato è costruito con mattoni rosa-arancio.....	270
Schede di catalogazione del campionamento di <i>Tell Tuqan</i>	274
Fig. 8.1– In tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di <i>Tell Halula</i>	284
Fig. 8.2- Comparazione dei distinti diffrattogrammi dei campioni TH05 e TH05a prelevati dalla struttura silos di tipo rettangolare.....	287

Fig. 8.3– In questo grafico sono stati elaborati i dati ottenuti attraverso la FRX dei tre livelli distinti della struttura definita nicchia.....	290
Fig. 8.4- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità biancastre.....	290
Fig. 8.5- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità aranciate.....	291
Fig. 8.6- Composizioni chimiche delle terre che presentano tonalità grigiastre.....	291
Fig. 8. 7 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di <i>Tell Halula</i>	292
Fig. 8.8 – In questa tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di <i>Yumuktepe</i>	299
Fig.8.9 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di <i>Yumuktepe</i>	300
Fig.8.10 – Comparazione dei dati ottenuti dalla FRX dei campioni YT06 e YT07 a sinistra, mentre a destra è riportato i grafici ottenuti dalla DRX degli stessi campioni.....	302
Fig. 8.11 – Grafico di comparazione dei risultati della FRX delle terre che compongono il frammento di pavimentazione calcolitica.	303
Fig. 8.12 – Grafico della semi quantificazione dei risultati ottenuti dall’analisi DRX del mattone e della malta del bronzo.....	304
Fig. 8.13 – Immagini ottenute tramite microscopio elettronico a scansione (SEM)(Scala 200 µm). In alto a sinistra YT03, YT04 a destra, mentre in basso a sinistra YT05 e YT11.....	305
Fig. 8.14 - Diffrattogramma della determinazione dei minerali argillosi presenti nelle terre di <i>Yumuktepe</i>	306
Fig. 8.15 - Comparazione diffrattogrammi mattone bianco (YT24) e mattone rosso (YT22).....	308
Fig. 8.16 – Tabella della lettura petrografica delle sezioni sottili dell’insediamento di <i>Yumuktepe</i>	310
Fig. 8.17 - In questi grafici si osservano le composizioni mineralogiche ottenute dalla media dei dati raccolti dalle analisi compiute su campioni di mattone crudo (Immagine da Quarta, Marchiori e Melica 2014).....	313

Fig.8.18 – In questi grafici si osservano le composizioni mineralogiche dei mattoni crudi con colorazione distinta. (Immagine da Quarta, Marchiori e Melica 2014).....	313
Fig.8.19 - In questa tabella sono riportati i valori in percentuale della semi-quantificazione della composizione mineralogica dei campioni prelevati dal sito archeologico di <i>Tell Tuqan</i>	314
Fig.8.20 – Tabella degli elementi maggioritari, presenti nella composizione chimica dei prelievi di <i>Tell Tuqan</i>	314
Fig. 8.21- Tabella della lettura petrografica delle sezioni sottili dell’insediamento di <i>Tell Tuqan</i>	317-318
Tavola 8.1 – A) Polverizzazione campione tramite mortaio in agata; B) Montaggio della polvere nel porta campione; C) Campioni montati su maschera grande (15); D) Diffratometro X’Pert Philips; E) Reazione di effervescenza causata dallo scioglimento dei carbonati; F) Ultimo passaggio prima della raccolta tramite pipetta della sospensione argillosa.....	320
Tavola 8.2 - A) Comparazione dei diffrattogrammi dei mattoni delle diverse strutture indagate a <i>Tell Halula</i> ; B) Diffrattogramma campione TH02.....	321
Tavola 8.3 – A) Diffrattogramma TH03; B) Diffrattogramma TH04.....	322
Tavola 8.4 – A) Comparazione diffrattogrammi dei campioni d’intonaco; B) Comparazione diffrattogrammi dei prelievi di mattone di colore bianco.	323
Tavola 8.5- A) Diffrattogramma AO di TH02; B) Diffrattogramma AO di TH11. (AO=Aggregato Orientato; EG= Glicole Etilenico.....	324
Tavola 8.6 – A) Diffrattogramma TH23; B) Comparazione dei diffrattogrammi dei vari prelievi di mattone crudo raccolti nel sito.....	325
Tavola 8.7 – A) Comparazione dei diffrattogrammi ottenuti dalla analisi dei vari elementi architettonici raccolti sul sito; B) Comparazione dei diffrattogrammi degli strati che compongono la struttura “ <i>hornacina</i> ”(TH09a,b,c).....	326
Tavola 8.8 – A) Diffrattogramma con presenza di hydroxylapatite; B) diffrattogramma con presenza di fluoruroapatite.....	327
Tavola 8.9 – Sezioni sottili in Scala 200µm. A) Immagine di un frammento di selce in TH04; B) Cristalli di gesso in posizione secondaria in TH03; C) Particolare di calcareniti in TH09; D) Fossile nel campione	

d'intonaco TH14; E) Fossile non identificabile nel campione di mattone bianco TH10; Particolare di carbonati e argilla in TH03.....	328
Tavola 8.10 – A) Diffratogramma di YT03; B) Diffratogramma di YT11.....	329
Tavola 8.11 –A) Grafico diffrattometrico dei prelievi di mattone calcolitico e ittita (in nero) comparati con i risultati dei prelievi semibruciati (in rosso) dei campioni dello stesso periodo; B) Diffratogramma di YT01.....	330
Tavola 8.12 – A) Grafico diffrattometrico dove si possono osservare assieme i diffrattogrammi dei tre livelli che compongono il livello pavimentale calcolitico; B) Grafico diffrattometrico dove sono comparati i risultati della malta (YT10) e del prelievo di mattone crudo (YT09) della fondazione di fortificazione del bronzo.....	331
Tavola 8.13 – A) Diffratogramma YT12; B) Grafico di comparazione dei diffrattogrammi dei campioni di mattone crudo, di cronologia differente, raccolti sul sito di <i>Yumuktepe</i>	332
Tavola 8.14 – A-B) In queste foto sono visibili i mattoni calcolitici con colorazione distinta (Scala 1cm). A sinistra i campioni a confronto e a destra le terre analizzate tramite diffrazione raggi X; C) Grafico di comparazione dei diffrattogrammi dei campioni di mattone crudo calcolitico di colore distinto; D-E) In queste due foto si osservano, a sinistra una foto macro del campione di mattone rosso, e a destra una foto macro del campione di mattone bianco.....	333
Tavola 8.15 – Sezioni sottili in Scala 500µm. A) Sezione sottile generale del mattone neolitico (YT01); B) Particolare di YT01; Sezione sottile generale del calcolitico (YT08); C) Particolare di osso bruciato di YT08; D) Sezione sottile generale del mattone del bronzo (YT10); Sezione sottile generale del mattone ittita (YT12).....	334
Tavola 8.16 – A) Strumentazione laboratorio del Centro CNR-IBAM (Istituto Beni Culturali Monumentali); B) Comparazione dei diffrattogrammi delle analisi nuove eseguite sui mattoni crudi di <i>Tell Tuqan</i>	335
Tavola 8.17 - Comparazione dei diffrattogrammi con torta della stima semi quantitativa dei campioni di malta (TT21a), mattone (TT21b) e intonaco (TT21c).....	336
Tav. 8.18 – A) Diffratogramma della composizione generale di TT31; B) Diffratogramma dell'aggregato orientato del campione TT31.....	337
Tavola 8.19 - Tutte le immagini sono state prese con microscopio in luce cross-polarizzata. A) Sezione sottile di mattone grigio del Bronzo Antico IV; B) Sezione sottile di un mattone arancione del Bronzo	

Medio II; C) Sezione sottile di un mattone rosso del Ferro II; D) Sezione sottile di un mattone bianco persiano; E) Sezione sottile della malta di allettamento; F) Sezione sottile intonaco.....338

Fig.9.1 – Il grafico riporta le percentuali di porosità delle prove effettuate su alcuni campioni che hanno resistito alla sommersione in acqua per 24h (H₂O) assieme alle percentuali di porosità ottenute effettuando le prove con l'altro solvente (WS).....341

Fig.9.2 – Grafico dei risultati ottenuti attraverso misurazione della porosità mediante *white spirit*.....344

Fig.9.3 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Yumuktepe*, misurate attraverso la tecnica sperimentale che impiega l'altro solvente (*white spirit*).....345

Fig. 9.4 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Yumuktepe*, misurate attraverso la porosimetria ad acqua.....346

Fig. 9.5 - In questo grafico sono riportate le prove di porosità effettuate sui campioni prelevati dal sito archeologico di *Tell Tuqan*, misurate attraverso la porosimetria sperimentale che impiega il *white spirit* come solvente.....347

Fig. 9.6 – Risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Tell Halula*.....349

Fig. 9.7 - Risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Yumuktepe*. Sono stati evidenziati alcuni gruppi: con il simbolo * i valori più alti e con il simbolo • i dati rivelanti riportati sulla descrizione dei risultati.....351

Fig. 9.8 – La tabella riporta i risultati delle prove di resistenza sui campioni di *Tell Tuqan*. Con il simbolo * è evidenziato il valore più alto.....352

Fig. 9.10 – Nella tabella sono riportate le percentuali delle frazioni determinate nelle terre. I primi quattro dati provengono dal laboratorio, mentre gli ultimi tre sono stati determinati personalmente nel laboratorio di Siviglia.354

Fig. 9.11 – Rappresentazione grafica delle percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla nei campioni di *Tell Halula*.....356

Fig. 9.12 – Diagramma triangolare dell'analisi statistica dei risultati.....356

Fig. 9.13 – Curva granulometrica del prelievo di mattone costituente un braccio del forno.....358

Fig. 9.14 – Curva granulometrica del prelievo di mattone crudo.....	359
Fig. 9.15 – Curva granulometrica del prelievo dalla struttura <i>grill plan</i>	360
Fig. 9.16 - Diagramma triangolare dove sono riportati i risultati dei campioni di <i>Yumuktepe</i>	361
Fig. 9.17 – Tabella con i valori in percentuale della quantità di ghiaia, sabbia, limo e argilla presenti nei prelievi di mattone delle terre di <i>Yumuktepe</i>	362
Fig. 9.18 – Curva granulometrica del frammento di mattone neolitico.....	363
Fig. 9.19 – Curva granulometrica del prelievo di mattone calcolitico dell’edificio tripartito.....	364
Fig. 9.20 – Curva granulometrica del prelievo di mattone del bronzo.....	365
Fig.9.21 – Diagramma triangolare dove sono riportati i dati dei mattoni e dei campioni di riferimento del sito di <i>Tell Tuqan</i>	366
Fig. 9.22 – Grafico dove sono riportate le medie, delle varie fasi cronologiche, ottenute dai risultati granulometrici dei campioni di <i>Tell Tuqan</i>	367
Fig. 9.23 – Curva granulometrica di un prelievo del mattone crudo del Bronzo Medio.....	369
Fig. 9.24 - Curva granulometrica di un campione di mattone crudo del Ferro III.....	370
Fig. 9.25 - Diagramma triangolare dei campioni di malta, intonaco e mattone di due murature del Ferro III. Sotto sono riportate le percentuali dell’indagine granulometrica dei campioni.	371
Fig. 9.26 – Curva granulometrica del campione di terra grigia di riferimento, raccolto nella zona ad ovest dell’insediamento.	372
Fig. 9.27 – Curva granulometrica del campione di terra rossa di riferimento, raccolto nella zona ad est dell’insediamento.....	373
Fig.9.28 - In questo grafico sono riportati i valori ottenuti dalla porosimetria sull’asse delle ordinate e i valori ottenuti attraverso la resistenza a compressione sull’asse delle ascisse.....	375
Tavola 9.1 – A-B) Foto del laboratorio dell’Università di Ingegneria di Siviglia; C) Stufa di essicamento; D) Recipiente collegato a pompa per portare i campioni in sotto vuoto prima dell’inserimento del liquido; E)Pesata del campione saturo; F) I quattro campioni di <i>Tell Halula</i> su cui sono state effettuate le prove	

fisico-meccaniche; G) Sega circolare per tagliare i provini cubici; H) I provini cubici ottenuti dai campioni esaminati che potevano essere analizzati.....377

Tavola 9.2 – A) Strumentazione sotto cappa per applicare lo zolfo liquido; B) Operazione di livellamento delle basi di zolfo; C) I campioni dopo l'applicazione dello zolfo; D) Prova di compressione su un campione tramite TCCSL modello PCI-30; E) Il campione TH02 che non ha resistito all'applicazione dello zolfo; F) I campioni sperimentali di *Yumuktepe*.....378

Fig. 10.1 – Le terre proposte tra cui i partecipanti hanno scelto le più valide per la costruzione; quella cerchiata è quella più buona.....381

Fig. 10.22 - Le terre scelte dai partecipanti al corso tra cui, come si può osservare dalla foto, non c'è quella più buona per costruire.....382

Fig. 10.3 – La terra con caratteristiche migliori per costruire come si può osservare dalla foto è una mistura di elementi, quali: sabbia, noduli di argilla e ghiaia di piccole dimensioni.....382

Fig.10.4– In questa foto si osservano i partecipanti che lavorano la terra formando le palline, i cordoni e i nastri.....384

Fig.10.5 - In questa foto si può osservare la lunghezza del nastro ottenuto che determina una terra con molta argilla.....385

Fig. 10.6 – In questa foto si può osservare la setacciatura della terra proveniente dal mucchio che è caratterizzata da una granulometria grossolana e il prodotto ottenuto attraverso il setaccio che presenta una granulometria più fine.....387

Fig. 10.7 – In queste foto si vedono le operazioni di miscelazione della terra con acqua inizialmente e poi l'aggiunta della paglia. L'ultima foto in basso mostra la gettata dell'impasto nel modulo.....388

Fig. 10.8 – Nella prima foto a sinistra è visibile l'immersione degli stampi in bacinelle riempite di acqua, la foto centrale immortala l'attimo precedente il distacco dello stampo e infine l'ultima mostra i vari adobes dopo la produzione.....389

Fig. 10.9 - In queste due foto si vedono l'applicazione della terra e poi l'operazione di compattazione dei grani. Come si può osservare il livello iniziale della terra e quello finale non coincide, questa forte compattazione dei grani ottenuta attraverso l'ausilio dei pestelli dona resistenza alla struttura.....390

Fig. 10.10 – Nella foto a sinistra, finita la compattazione, si monta la cassaforma. A destra, la parte di parete elevata con la tecnica del *pisé*.....390

Fig. 10.11– In queste due foto si vedono l’applicazione del rivestimento a destra e i quattro distinti impasti stesi a sinistra.....	392
Fig. 10.12 – Foto macroscòpica campione YTZ.....	396
Fig. 10.13 – Foto macroscòpica campione YTX.....	396
Fig. 10.14 – Foto macroscòpica campione YTY.....	397
Fig. 10.15 – Tabella con i risultati ottenuti attraverso la resistenza a compressione.....	398
Fig. 10.16- Città di Bam in Iran dopo il terremoto del 2003.....	400
Fig. 10.17- Le due coperture costruite nel sito archeologico di <i>Çatal Hüyük</i>	401
Tavola 10.1 – In queste foto si vedono in alto a sinistra i campioni TH01 e TH20 raccolti a <i>Tell Halula</i> , a destra i campioni YT13 e YT20 provenienti da <i>Yumuktepe</i> e in basso al centro il campione TT31 proveniente da <i>Tell Tuqan</i>	402
Tavola 10.2 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TH01. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, ritrazione, coesione e sedimentazione.....	403
Tavola 10.3 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TH20. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, coesione, resistenza a secco e sedimentazione.....	404
Tavola 10.4 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione YT09. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, resistenza a secco, ritrazione e coesione.....	405
Tavola 10.5 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione YT20. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, ritrazione e sedimentazione. Nella foto in basso a sinistra si osserva il confronto tra le due pasticche ottenute dalle terre di <i>Yumuktepe</i>	406
Tavola 10.6 – In questa tavola si osserva il comportamento della terra del campione TT31. Le immagini mostrano il comportamento nella prova di consistenza, sedimentazione, resistenza a secco e ritrazione.....	407