

## Metodo ATLAS

### Fase C (Forma)

#### Morfologia strutturale come risposta idraulica graduata:

La fase C non introduce una nuova ipotesi cronologica, ma verifica se la forma delle strutture è coerente con l'ipotesi funzionale formulata nella Fase B. Le analisi altimetriche precedenti hanno evidenziato una gerarchia topografica chiara lungo l'asse Nord-Est → Sud-Ovest della piana di Tiwanaku:

- Akapana (~3867 m)
- Kalasasaya (~3863 m)
- Kantatallita (~3862 m)
- Tempio Semisotterraneo (~3861 m)
- Putuni (~3860 m)
- Puma Punku (~3858–3859 m)
- Río Tiwanaku (~3853 m)

#### **Gradiente medio asse Akapana → Puma Punku:**

##### **Quote:**

Akapana ≈ 3867 m

Puma Punku ≈ 3858.5 m

$\Delta h = 8.5$  m

Distanza misurata ≈ 1772 m

##### **Gradiente:**

$$G = \Delta h/L$$

→ 0.48 %

##### **In gradi:**

≈ 0.27°

L'asse monumentale presenta un gradiente medio di circa 0,48%, corrispondente a 0,27°, compatibile con drenaggio superficiale lento e progressivo.

**Formula:**

$$G=0.00479=0.479\%$$

$$\text{Percentuale} = G \times 100$$

**Conversione in gradi:**

$$\theta = \arctan(G) \quad \theta \approx G(\text{in radianti})$$

*(Hager, W. H. (2010). Wastewater Hydraulics: Theory and Practice. Springer.)*

**Equazione di Manning:**

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

**Dove:**

S = pendenza

n = coefficiente di Manning (0.025–0.035 per suolo terroso)

R = raggio idraulico

*(Manning, R. (1891). On the Flow of Water in Open Channels and Pipes.)*

*Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics.*

**Valori tipici:**

Canali terrosi naturali: 0.2–1.0 m/s

Regime erosivo marcato > 2 m/s

*(USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS). Engineering Field Handbook, Chapter 7)*

**Limite erosione suolo >2 m/s:**

*(Julien, P. Y. (2010). Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press.*

*Knighton, D. (1998). Fluvial Forms and Processes. Arnold.)*

## **Gradiente Puma Punku → Río Tiwanaku:**

### **Quote:**

Puma Punku ≈ 3858.5 m

Río ≈ 3853 m

$\Delta h \approx 5.5$  m

Distanza stimata ≈ 700 m

### **Gradiente:**

$$G = 5.5 / 700 = 0.0078$$

→ 0.78 %

Il tratto terminale verso il Río presenta pendenza media di circa 0,7–0,8%, coerente con scarico controllato e non torrentizio.

### **Regime idraulico teorico (pendenza <1%):**

Per superfici terrose poco incise con pendenza 0,5–0,8%:

Velocità stimata:

0.3 – 0.8 m/s

Regime distruttivo su suolo sciolto > 2 m/s.

Le pendenze calcolate implicano velocità teoriche inferiori a 1 m/s, incompatibili con dinamiche torrentizie ad alta energia. La perdita di quota è progressiva e continua. Non si osservano salti morfologici incompatibili con un sistema a drenaggio graduale.

*(Farr, T. G., et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45(2), RG2004. DOI:10.1029/2005RG000183)*

## **1. Coerenza morfologica:**

Le strutture non sono distribuite casualmente: seguono una pendenza dolce naturale; occupano micro-rilievi leggermente sopraelevati; si dispongono secondo una sequenza altimetrica coerente. Questo suggerisce adattamento alla morfologia preesistente, non imposizione arbitraria.

### **Muri a zig-zag e terrazzamenti:**

I muri a gradoni presenti sul lato nord-ovest di Akapana e le strutture terrazzate di Puma Punku presentano caratteristiche compatibili con:

- dissipazione di energia idraulica;
- rallentamento progressivo del flusso;
- distribuzione laterale dell'acqua;
- aumento artificiale della lunghezza del percorso.

La forma a zig-zag aumenta la superficie di contatto e riduce la velocità del flusso superficiale. Non appare come barriera contro evento catastrofico improvviso, ma come regolatore di flussi moderati ma persistenti.

#### **Geometria muri a zig-zag**

Dalle osservazioni satellitari:

Deviazioni angolari tra segmenti  $\approx 30^\circ\text{--}45^\circ$

Aumento lunghezza percorso  $\approx 25\text{--}40\%$  rispetto linea retta

L'andamento spezzato incrementa la lunghezza del percorso idraulico del 25–40%, aumentando la resistenza lineare e riducendo la velocità del flusso superficiale.

#### **Formula utilizzata:**

$$G = \Delta h/L$$

- **Meccanica dei fluidi**
- **Idraulica dei canali a pelo libero**

**Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill.**

**French, R. H. (1985). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill.**

### **3. Nodo centrale (Akapana):**

Akapana occupa il punto altimetrico dominante del sistema. La sua posizione è coerente con:

- punto di raccolta;
- nodo di redistribuzione;
- centro di regolazione della falda superficiale.

Non è in posizione frontale rispetto a un impatto diretto da nord-est; è centrale. Questo è coerente con una funzione di regolazione, non di contenimento frontale.

#### **Differenziale altimetrico complessivo sistema**

Dal punto più alto al Río:

3867 m → 3853 m

$\Delta h = 14$  m

Su distanza complessiva  $\approx 2.4$  km

Gradiente globale  $\approx 0.58\%$

L'intero sistema si sviluppa su un dislivello totale di circa 14 m distribuiti su oltre 2 km, configurando una piana a bassa energia potenziale. L'assenza di salti altimetrici bruschi e la continuità del gradiente suggeriscono un adattamento alla microtopografia naturale, non l'imposizione di una piattaforma artificiale indipendente dal contesto idraulico.

#### **4. Puma Punku come punto di dissipazione:**

Puma Punku rappresenta il livello monumentale più basso del complesso centrale. La sua posizione suggerisce:

- zona di uscita controllata;
- scarico laterale;
- regolazione finale del sistema.

La differenza di quota ( $\sim 5$  m rispetto al Río Tiwanaku) è compatibile con ambiente a falda alta e drenaggio superficiale controllato.

#### **5. Interpretazione formale:**

La forma complessiva del sistema suggerisce:

- non un'opera difensiva contro piena improvvisa;
- non una diga monumentale,

ma un sistema graduato di controllo idraulico su piana instabile. La coerenza altimetrica rafforza l'ipotesi funzionale.

## **6. Stato attuale del modello:**

La Fase C non attribuisce ancora una datazione, dimostra invece che:

- la forma architettonica è coerente con una funzione idraulica graduata.

Eventuali correlazioni cronologiche con fasi paleoidrologiche tardo-pleistoceniche restano oggetto di analisi successiva.

## **Sezione di Implicazioni Ambientali**

### **7. Verifica paleoidrologica preliminare del contesto altiplanico:**

La verifica della coerenza morfologica richiede un confronto con le ricostruzioni paleolimnologiche del bacino del Lago Titicaca e con i dati sedimentari disponibili per l'Altiplano boliviano. Le ricerche paleoclimatiche indicano che tra il Last Glacial Maximum (~21 ka) e l'inizio dell'Olocene si sono verificate oscillazioni significative del livello lacustre e variazioni della portata dei sistemi fluviali regionali. Tali oscillazioni sono compatibili con fasi di maggiore disponibilità idrica e riorganizzazione dei drenaggi superficiali. Tuttavia, allo stato attuale delle pubblicazioni:

- non risultano documentate trasgressioni lacustri stabili oltre quota ~3860 m tali da sommergere in modo permanente la piana monumentale;
- non sono mappate paleosponde direttamente sovrapposte all'area strutturale di Tiwanaku alle quote comprese tra 3858 e 3864 m;
- non sono pubblicate evidenze stratigrafiche pleistoceniche direttamente associate alle fondazioni monumentali del complesso.

Le condizioni documentate durante il Tardiglaciale rappresentano una delle configurazioni ambientali compatibili con la scala infrastrutturale osservata.



## 1. Coerenza Idraulica Strutturale:

Erickson dimostra che i raised fields:

- modificano radicalmente il suolo (scavi fino a 1–2 m)
- creano microtopografia controllata
- gestiscono acqua in eccesso e in difetto
- migliorano microclima (innalzamento termico 1–2°C)
- funzionano come sistemi di drenaggio + accumulo simultaneo

Elementi chiave:

- drenaggio controllato, non drenaggio totale;
- conservazione di acqua nei canali;
- produzione e riciclo di sedimenti e nutrienti;
- stabilizzazione del sistema in condizioni di piena e siccità;

Questo è cruciale, il sistema non nasce per “bonificare” una palude. Nasce per governare un ambiente idrologicamente instabile. Applicato al caso studio:

- convergenza di solchi montani;
- affluenti multipli;
- piana a bassa pendenza;
- presenza di paleosponde;

La morfologia è compatibile con un sistema che:

- Rallenta;
- Redistribuisce;
- Stabilizza.

## 2. Monumentalizzazione del Paesaggio:

Astuhuamán evidenzia che i centri andini si sovrappongono a:

- nodi territoriali preesistenti;
- luoghi ad alta visibilità;
- spazi con valore cosmologico.

288

POPULATION AND ENVIRONMENT

**FIGURE 2.** Raised fields in Viscachani Pampa, Huatta, Peru (March 1989). The prehistoric field and canal patterns are easily delineated during the inundation in the wet season. Evidence of abandoned fields extend across the plains to the hills at the horizon. The darker fields (center) are recently reconstructed raised fields, part of the experimental program in collaboration with the community of Segunda Collana.



lines, causeways, lynchets, stone piles, ditches, burial towers, corrals, and buildings constructed before the arrival of the Spanish.

### **RAISED FIELDS: A MAJOR LANDSCAPE MANAGEMENT SYSTEM**

One of the most impressive technologies in the prehistoric Andean farming repertoire is raised field agriculture (Erickson, 1985; 1986; 1987; 1988a; 1988b; Erickson & Brinkmeier, 1991; Erickson & Candler, 1989; Kolata, 1986; Smith et al., 1968; Lennon, 1983; Garaycochea, 1986;

t...

Il punto decisivo è che la monumentalità non crea il paesaggio, lo formalizza e lo istituzionalizza. Nel nostro modello, se il sistema idraulico preesiste come necessità ambientale, la Piramide e Kalasasaya diventano:

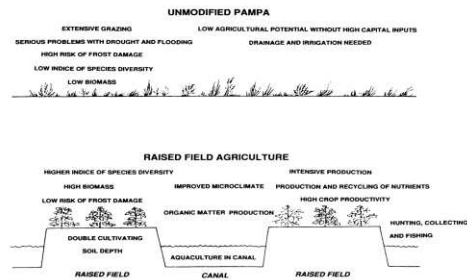
- punti di controllo;
- punti di regolazione;
- punti di formalizzazione simbolica del controllo dell'acqua.

L'acqua diventa infrastruttura. L'infrastruttura diventa potere.

292

POPULATION AND ENVIRONMENT

**FIGURE 5.** Comparison of the typical *pampa* environment and the human modified raised field environment.



tion. The selection of only a few aspects of management and environmental impact is somewhat artificial. The actual situation is much more complex than can be discussed in this brief presentation. It must be noted that these are interrelated features of a very sophisticated system of landscape management.

*Soil Modification and Disturbance*

The practice of raised field agriculture greatly modifies natural soil conditions and local plant communities. The excavation of soils to create the canals and the construction of the large elevated platforms is a major earth-moving process. The extent of these disturbances was not known until we excavated trenches across raised fields to record the internal stratigraphy. In all of these trenches (11 in total), the depth and extent of human-caused soil disturbance is impressive. Most of the original canals extended to a depth of at least 1 meter below the present surface and some extended as deep as 2 meters. The soil profile within the raised field zones

**3. Interazione (Ambiente → Funzione → Forma):**

Applicando rigorosamente la matrice ATLAS:

**Ambiente**

- fase post-LGM
- aumento portate
- instabilità idrologica
- oscillazioni lacustri documentate nell'Altiplano

**Funzione**

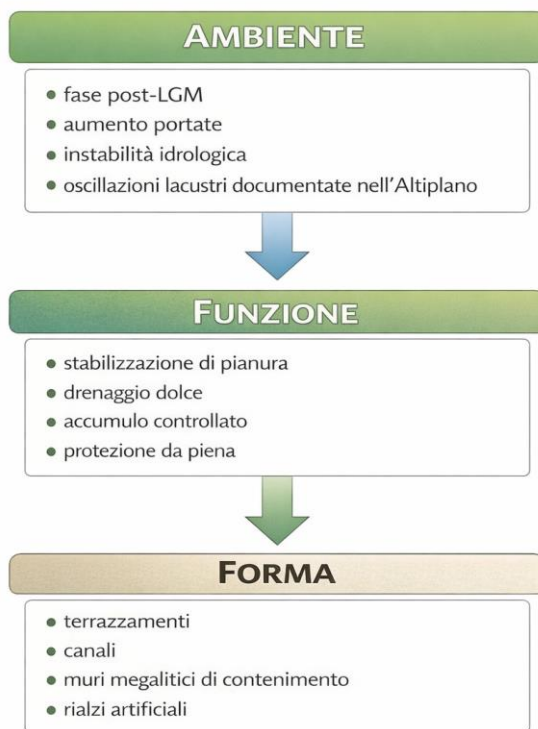
- stabilizzazione di pianura
- drenaggio dolce
- accumulo controllato

- protezione da piena

## Forma

- terrazzamenti
- canali
- muri megalitici di contenimento
- rialzi artificiali

La Forma è risposta tecnica, non è gesto simbolico primario.



#### 4. Compatibilità con Finestra Climatico-Idrologica:

Erickson documenta che i sistemi a campi rialzati sono progettati per:

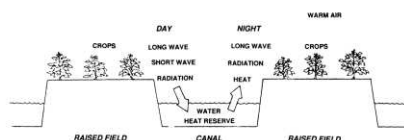
- ambienti con saturazione periodica
- alternanza piena/siccità
- rischio gelo piana a quota 3800 m

296

POPULATION AND ENVIRONMENT

FIGURE 8. Landscape management in raised field agriculture:

Microclimate modification.  
MICROCLIMATE MODIFICATION



##### Microclimate Modification

Raised fields had a considerable effect on the improvement of local crop microclimate. We have demonstrated that radiation frosts are minimized by raised fields (Erickson, 1986; n.d.; Grace, 1983). The water and aquatic vegetation in the canals functions as a heat sink for the capture of solar radiation. This heat is gradually released at night, blanketing the fields in warm air. We also hypothesize that the surface geometry of alternating fields and canals and the orientation of fields to the cardinal directions would improve crop conditions by maximizing energy capture, retention, and storage. These slightly higher temperatures can eliminate frost problems or minimize them. During two nights of frost, we demonstrated that not only were temperatures higher in raised fields than surrounding pampa (by 1-2° C), but also that the frost was of shorter duration (4 vs. 6 hours). The experimental data was collected on small blocks of reconstructed fields. We expect that in functioning blocks of fields covering several square kilometers, the microclimate improvement effect would be even greater. Temperatures may have been raised several degrees throughout the zone of raised fields and also may have had a favorable impact on nearby hillslope farms.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Detailed modeling of raised field temperatures has been recently conducted by Kolata and Ortloff (1989).

Ora la questione cruciale:

In quale finestra temporale l'ambiente di Tiwanaku richiedeva un sistema così massivo?

Le condizioni di maggiore pressione idrologica documentate nel Tardiglaciale rappresentano una delle configurazioni ambientali compatibili con la scala infrastrutturale osservata.

- deglaciazione
- rilascio idrico irregolare
- paleolaghi in ritiro
- instabilità di bacino

Questa configurazione è coerente con la finestra 19–15 ka, non stiamo datando il sito, stiamo datando la necessità funzionale.

L'analisi incrociata tra studi di gestione del paesaggio andino e documentazione sperimentale sui sistemi idraulici dell'Altiplano dimostra che:

1. Il modello morfologico osservato a Tiwanaku è coerente con sistemi di regolazione idrica complessi;
2. Le strutture monumentali sono compatibili con infrastrutture di stabilizzazione territoriale;
3. La monumentalizzazione non esclude la funzione tecnica ma la formalizza;
4. I sistemi a campi rialzati dimostrano capacità di gestione di ambienti instabili ad alta quota;
5. L'infrastruttura richiede condizioni ambientali di pressione idrologica significativa.

La Forma non nasce nel vuoto, nasce in risposta a una pressione ambientale persistente. Non affermo che il sito sia stato costruito nel Pleistocene finale, affermo quanto segue:

1. Le caratteristiche morfologiche sono compatibili con sistemi progettati per ambienti idrologicamente instabili;
2. Le condizioni che rendono necessaria tale infrastruttura sono documentate in modo più marcato nella fase di deglaciazione post-LGM;
3. Tale configurazione risulta compatibile con la finestra 19–15 ka in termini di pressione idrologica documentata; ciò non costituisce una datazione diretta del sito, ma una compatibilità ambientale del modello funzionale.

Il modello ATLAS non impone una cronologia, ma individua una finestra ambientale coerente con la scala infrastrutturale osservata. La datazione resta subordinata a evidenze stratigrafiche dirette.

*Note:*

**Clark L. Erickson**, “Prehistoric Landscape Management in the Andean Highlands: Raised Field Agriculture and its Environmental Impact,” *Population and Environment*, Vol. 13, No. 4 (Summer 1992), pp. 285–300. © 1992 Springer. Reproduced for scholarly discussion. Clark L. Erickson

Department of Anthropology

University of Pennsylvania

Philadelphia, PA, USA

Affiliazione indicata nell’articolo (1992):

University of Pennsylvania

Erickson, Clark L. 1992.

“Prehistoric Landscape Management in the Andean Highlands: Raised Field Agriculture and its Environmental Impact.”

*Population and Environment*, Vol. 13, No. 4, pp. 285–300.

New York: Springer.

**César Astuhamán González** Departamento de Humanidades Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) Lima, Perú César Astuhamán González, *The Inca Takeover of the Huamachuco Region*, [editore], [anno]. Reproduced for scholarly analysis.

Fonti metodologiche per i calcoli idraulici

Farr et al., 2007 – SRTM DEM

Chow, 1959 – Open Channel Hydraulics

Manning, 1891 – Formula velocità

USDA NRCS – valori erosione suolo

Julien, 2010 – soglie erosione