

# L'arte muraria degli inca

*Eseguendo personalmente il lavoro di tagliapietre in una cava incaica, l'autore è riuscito a spiegare come gli inca raggiungessero tanta precisione nel far combaciare gli enormi blocchi di pietra usati nelle loro costruzioni*

di Jean-Pierre Protzen

La cultura incaica raggiunse l'apogeo solo un centinaio di anni prima della conquista spagnola, avvenuta nel 1532. Durante quel secolo la società incaica si trasformò da piccolo stato agricolo del Perù centrale a un potente impero che si estendeva dal Cile all'Ecuador. Un aspetto della sua fioritura culturale fu un ambizioso programma di nuove costruzioni iniziato nel 1438 da Pachacutec, il nono *inca* (o imperatore). Pachacutec ordinò alle sue maestranze di ricostruire Cuzco, la capitale dell'impero emergente. La ricostruzione non si fermò alla morte del nono inca. I suoi successori estesero le nuove costruzioni molto oltre i confini di Cuzco. In tutto il Perù furono eretti templi, palazzi, magazzini e impianti idrici, opere costruite *ex novo* o in sostituzione di strutture precedenti.

Il programma di costruzioni di Pachacutec fu non solo ambizioso, ma anche tecnicamente innovatore. Benché la maggior parte delle strutture incaiche anteriori fosse costruita probabilmente con adobe o con pietre cementate con fango, i nuovi edifici furono eretti per intero a secco. Blocchi di pietra, il cui peso poteva raggiungere anche 100 tonnellate, venivano squadriati e messi in opera con tanta precisione che in molte delle commessure non è possibile infilare neppure la lama di un coltello.

Per secoli e secoli i visitatori del Perù sono stati affascinati dalla mole dei conci usati nelle costruzioni in pietra degli inca e dalla precisione con cui ogni concio è stato inserito nell'opera muraria. Il fatto che gli inca non possedessero utensili in ferro rende queste costruzioni ancora più impressionanti. Nel 1979, mentre stavo tornando negli Stati Uniti dopo un incarico didattico temporaneo in Brasile, visitai alcuni fra i principali siti incaici e rimasi stupito dall'ingegnosità delle costruzioni. Quando chiesi alle mie guide in che modo gli inca squadrasero le grandi pietre e le componessero negli edifici ricevetti risposte non del tutto soddisfacenti. Tornato all'Università della California a Berkeley,

dove insegno architettura, chiesi a colleghi archeologi informazioni bibliografiche sulle costruzioni in pietra degli inca. Con mia sorpresa, mi fu detto che su quest'argomento non esisteva niente.

Pur non essendo un archeologo, ho un acuto interesse professionale per le tecniche di costruzione. Dopo avere riflettuto a lungo sull'argomento, decisi di compiere personalmente ricerche sulle opere in muratura degli inca. Un semestre di congedo per studi, nel 1982, mi diede l'opportunità di trascorrere sei mesi in Perù, e da allora vi sono tornato ogni anno per un mese circa. La mia ricerca non si è fermata alla fase delle ipotesi. Una volta formulata un'ipotesi, la sottoponevo immediatamente a verifica. Usando i materiali disponibili nei siti incaici, sgrossai, squadrai e composi assieme conci per dimostrare che questi compiti potevano essere eseguiti dagli inca nel modo da me ipotizzato. Rimangono alcuni misteri, in particolare su come i grandi blocchi in pietra venivano trasportati e manovrati nei siti di costruzione, ma nel complesso la mia ricerca ha avuto successo. Oggi è quindi possibile cominciare a sostituire le congetture sul modo in cui gli inca costruirono le loro belle strutture in pietra con dati empirici.

Gran parte della mia ricerca è consistita nell'analisi di specifiche mura incaiche nella stessa Cuzco e nelle «fortezze» di Sacsahuamán e di Ollantaytambo. Sacsahuamán è nei pressi di Cuzco e Ollantaytambo si trova sul Rio Urubamba, una novantina di chilometri a nord-est della capitale incaica. Benché in numerosi testi le costruzioni di Sacsahuamán e di Ollantaytambo vengano descritte come fortezze, ricerche archeologiche recenti inducono a pensare che avessero una funzione religiosa e non militare. Ma quale che sia stato il ruolo che quelle fortezze svolsero nella società incaica, i due siti sono impressionanti dal punto di vista delle tecniche di costruzione. Sacsahuamán è un sito molto grande, comprendente tre terrazze sovrapposte, cinte da tre mura in pietra

separate, alte più di tre metri. Ollantaytambo, costruito sul contrafforte di una montagna, comprendeva un centro religioso, una proprietà reale e una città costruita secondo un piano urbanistico.

Come venivano costruite queste grandi strutture in pietra? Per poter meglio trattare questo problema, l'ho suddiviso in quattro parti: l'estrazione delle pietre dalle cave, la sgrossatura e la squadratura dei singoli blocchi, la rifinitura dei conci in modo da farli combaciare perfettamente e il trasporto. Per la ricerca sull'estrazione dei blocchi ho visitato varie cave incaiche, analizzandone due particolareggiatamente, Kachiqhata e Rumiqolqa. Kachiqhata si trova a quattro chilometri circa da Ollantaytambo, al di là del Rio Urubamba, e le sue cave avevano fornito il porfido (granito rosso) usato nella costruzione del Tempio del Sole, la struttura più importante a Ollantaytambo. Rumiqolqa si trova 35 chilometri a sud-ovest di Cuzco e ha fornito la maggior parte dell'andesite (una roccia vulcanica) usata dai muratori di Pachacutec nella ricostruzione della capitale imperiale.

Vari indizi suggeriscono che l'estrazione di pietre da costruzione fosse un'attività molto importante per gli inca. Kachiqhata e Rumiqolqa sono località remote, difficili da raggiungere e lontane dai siti nei quali i blocchi venivano usati per le costruzioni. La ragione che indusse gli inca a sfruttare cave così poco accessibili deve essere stata il grande valore che essi attribuivano al tipo di pietra che vi si trova.

L'organizzazione interna delle cave dimostra inoltre quanta attenzione venisse prestata al sistema adottato per procurarsi le pietre da costruzione. Tanto Rumiqolqa quanto Kachiqhata hanno reti di vie d'accesso che conducono ai punti dai quali si estraevano le pietre da costruzione. Si arriva, per esempio, alle cave di Kachiqhata percorrendo una strada che scende da Ollantaytambo, attraversa il Rio Urubamba e sale, sull'altra riva del fiume, fino a una serie di dirupi dai quali si staccano naturalmente falde di roccia che si accumulano



Sacsahuamán, nei pressi di Cuzco, è il sito di una delle più imponenti costruzioni in pietra degli inca. La fotografia mostra parte del sistema di tre terrazze sovrapposte comprendente tre cerchi di mura alte più di tre

metri. I massi più grandi pesano circa 100 tonnellate. Benché Sacsahuamán venga spesso descritta come una fortezza, ricerche archeologiche recenti fanno pensare che si trattasse probabilmente di un centro religioso.



Nel particolare di un muro di Ollantaytambo è evidente la notevole precisione con cui i conci delle costruzioni incaiche combaciano. Il materiale dei blocchi è meta-arcose, un tipo di arenaria. Le sporgenze servivano a manovrare i massi nel sito di costruzione; spesso, a lavoro

ultimato, erano lasciate sui blocchi. Questi erano coperti di piccoli segni di scheggiatura prodotti dalle pietre usate come martelli per squadrare i conci. I segni di scheggiatura sono più minuti ai bordi che nel centro della faccia, il che fa pensare all'uso di percussori diversi nelle due aree.



Alcuni siti incaici sono concentrati nei pressi di Cuzco, negli altipiani del Perù centromeridionale. Cuzco era la capitale dell'impero degli inca, e ivi la tecnica di costruzione a secco con pietre perfettamente squadrate raggiunse un nuovo culmine nel Quattrocento. Le pietre usate nella costruzione di molti edifici provenivano dalle cave di Rumiqolqa. A Ollantaytambo sorge un'imponente rovina incaica che, come la costruzione di Sacsahuamán, è spesso designata come fortezza, mentre era probabilmente un centro religioso. Le pietre usate a Ollantaytambo provenivano da Kachiqhata. Machu Picchu, una delle città incaiche più famose e meglio situate, sorge fra picchi montuosi. Urubamba e Vilcanota sono due nomi di uno stesso fiume in parti diverse del corso.

a valle in grandi pile. Là dove raggiunge questi dirupi, la via di accesso si suddivide in numerose ramificazioni che conducono ai vari siti della cava. Il percorso della strada può essere ricostruito con facilità in quanto il fondo è ragionevolmente ben conservato ed è inoltre fiancheggiato da un'ottantina di blocchi di pietra che furono abbandonati dagli inca.

Nella parte alta della collina, sul piano e lungo i pendii meno scoscesi della parte bassa della collina, la rete di vie d'accesso era formata da rampe che in origine erano probabilmente ricoperte da ghiaia. Sui pendii ripidi della parte bassa della collina, le rampe sono sostituite da piani inclinati lungo i quali si lasciava che i blocchi scivolassero liberamente. A Kachiqhata il piano inclinato più lungo ha una pendenza impressionante di 40 gradi, con un dislivello verticale di 250 metri; al fondo del pendio vi sono quattro blocchi abbandonati. Le cave di Rumiqolqa sono state molto sfruttate dopo la conquista e non sono ben conservate come quelle di Kachiqhata, ma anche in esse si può ricostruire una rete di strade che conducono ai siti delle cave. In entrambe le località gli inca avevano integrato le vie di accesso con altre strutture, come muri di sostegno, canali di scolo e acquedotti.

**B**enché le due località abbiano una pianta simile, i metodi usati nelle cave di Kachiqhata erano leggermente diversi da quelli usati a Rumiqolqa. A Kachiqhata

gli inca non estraevano pietre nel senso tecnico, che implica il taglio della pietra da una parete di roccia o il suo distacco dalla roccia in posto mediante taglio alla base. I cavaatori si limitavano invece a ispezionare i materiali rocciosi franati e a scegliere i blocchi di granito rosso a grana grossa che corrispondevano alle loro esigenze. Le osservazioni da me compiute suggeriscono che, dopo essere stato scelto a Kachiqhata, un blocco venisse lavorato assai poco prima di essere trasportato a Ollantaytambo. Pare che l'ulteriore lavorazione di squadratura della pietra e la rifinitura per far combaciare perfettamente le superfici dei vari conci venissero eseguite nel sito di costruzione.

A Kachiqhata il lavoro di sgrossatura su un blocco veniva spesso cominciato prima che la rampa che conduceva a esso fosse completata. Che fosse così risulta particolarmente chiaro alla fine della rampa più alta nella cava meridionale. Nei suoi pressi, due blocchi enormi, uno di 4,5 x 2,5 x 1,7 metri e l'altro, invece, di 6,5 x 2,7 x 2,1 metri, sono sollevati su piattaforme per la lavorazione della pietra. Benché i blocchi siano parzialmente squadrati, la rampa di accesso non si estende sino alle piattaforme su cui essi si trovano.

Curiosamente, i segni di taglio riscontrati su questi blocchi e su altri che sono stati rinvenuti nelle cave incaiche sono molto simili a quelli che si possono osservare sul *pyramidion* dell'obelisco non terminato di Assuan, in Egitto. (Il *pyrami-*

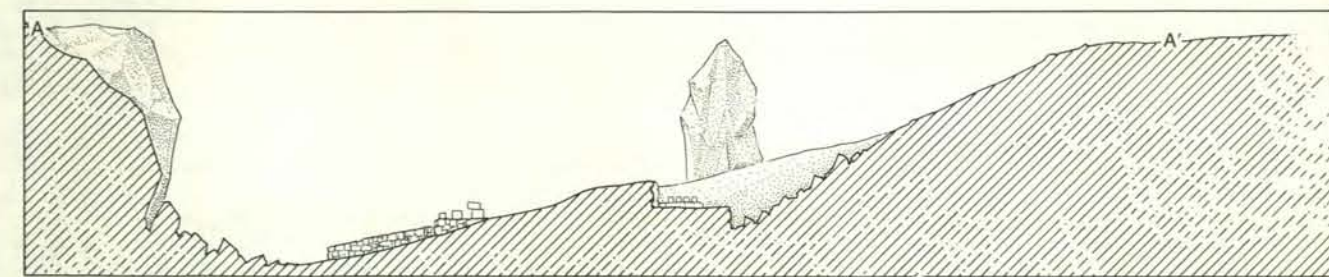
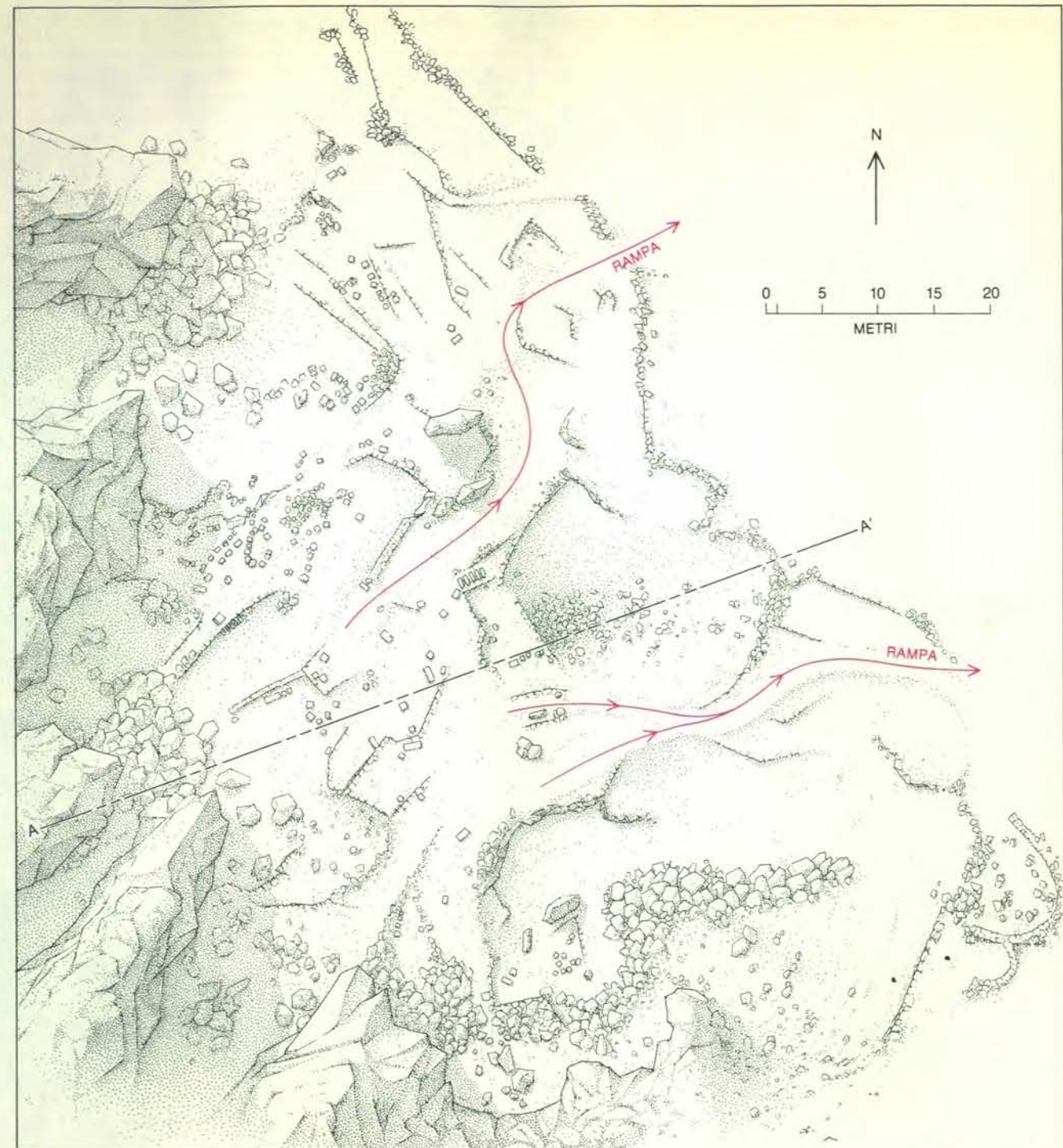
*dion* è la piccola punta piramidale alla sommità di un obelisco.) Tanto il *pyramidion* di Assuan quanto le pietre di Kachiqhata presentano, in superficie, degli incavi. È noto che gli egizi davano alle pietre la forma voluta martellandole con palle di dolerite (una roccia vulcanica). Sembra ragionevole pensare che anche gli inca facessero altrettanto.

Nel corso di un'accurata perlustrazione sul terreno della cava di Kachiqhata ho trovato alcune pietre arrotondate di quarzite, un'arenaria metamorfica che non si trova naturalmente fra le pietre della cava, mentre è presente lungo le rive del vicino Rio Urubamba. Un esame effettuato su di esse rivelò la presenza di incavi alla loro estremità più piccola, il che indica che furono usate per martellare. Ho così concluso che i cavaatori inca a Kachiqhata raccoglievano ciottoli di fiume arrotondati sulle rive del Rio Urubamba e li utilizzavano poi come martelli per sgrossare i blocchi prima di procedere all'operazione più accurata di squadratura e di rifinitura che doveva essere eseguita nel sito di costruzione a Ollantaytambo.

A Kachiqhata, quindi, si sceglievano blocchi di pietra dai materiali franati più che estrarli in senso tecnico, e si dava a essi soltanto una squadratura approssimativa prima di effettuare il trasporto. A Rumiqolqa, invece, i materiali venivano scavati veramente, ossia i blocchi venivano staccati dalla parete rocciosa. Poiché in questa località le cave sono state sfruttate dopo la conquista e vengono coltivate ancora oggi, gran parte delle prove che gli inca sfruttassero la roccia sono state cancellate. Sono riuscito però a trovare un punto di scavo ben conservato in un'area difficile da raggiungere e che perciò non è stata coltivata in tempi moderni. L'ho chiamata «Cava dei lama» con riferimento ai due petroglifi di lama, incisi su una parete di roccia.

**L**a Cava dei lama si è rivelata una ricca fonte di informazioni sul modo in cui gli inca estraevano e squadravano le pietre da costruzione. A Rumiqolqa l'estrazione dell'andesite non pone gravi problemi tecnici. Persino la roccia più densa si frattura abbastanza facilmente allo stato naturale da poterla staccare senza eccessiva difficoltà dalla superficie rocciosa. Può darsi che i cavaatori staccassero dalla superficie della roccia le pietre che volevano per mezzo di leve del tipo di quelle che sono state trovate in altri siti incaici. Le leve, in bronzo, sono lunghe un metro circa; esse hanno estremi appuntiti e una sezione quadrangolare di quattro o cinque centimetri di lato. A Rumiqolqa, però, la pietra è talmente fratturata che l'uso di leve in bronzo non sarebbe stato necessario. Ho visto cavaatori staccare pietre dalla parete di roccia con semplici bastoni; gli inca potrebbero aver fatto lo stesso.

Mentre è abbastanza facile capire come gli inca estraevano le pietre, è più difficile individuare le tecniche con cui le pietre venivano sgrossate e squadrate. Anche a



La Cava dei lama a Rumiqolqa è ben conservata. I cavaatori incaici staccavano massi dalla parete rocciosa (a sinistra) servendosi probabilmente di leve di bronzo o di bastoni di legno. I blocchi da costruzione venivano poi squadrate e rifiniti prima di essere trasportati via dalla cava.

Sul terreno, nella Cava dei lama, sono disseminati 250 blocchi abbandonati in varie fasi di lavorazione. Esaminandoli, l'autore ha potuto ricostruire i metodi di lavorazione della pietra usati dagli inca. Le pietre finite venivano portate via dalla cava lungo rampe ricoperte di ghiaia.

questo proposito la Cava dei lama è risultata utile. La cosa più sorprendente è costituita dai 250 blocchi di pietra estratti dagli inca e disseminati nel sito. In contrasto con le pietre di Kachiqhata, quelle di Rumiqolqa venivano in generale rifinite, o quasi rifinite, su cinque delle sei superfici quando ancora si trovavano nella cava. Fra i 250 blocchi presenti nella Cava dei lama si possono trovare esempi di tutte le fasi della lavorazione, dalla pietra grezza a blocchi squadrati con cura. Esaminando queste varie fasi sono riuscito a ricostruire il processo di lavorazione dei conci.

In primo luogo mi sono prefisso di identificare gli utensili usati per squadrare le pietre della Cava dei lama. Disseminate fra i frammenti di andesite, ho trovato pietre estranee al sito sia per forma sia per composizione. Mi sono imbattuto in un numero di queste pietre estranee sufficiente a darmi la certezza che esse venissero usate come martelli per conferire ai blocchi la forma desiderata. Come a Kachiqhata, la maggior parte di queste pietre estranee è costituita da ciottoli di fiume. Sembra che questi ciottoli provenissero dalle rive del Rio Vilcanota, che scorre non lontano dalla cava. Alcune fra le pietre usate come martelli sono di quarzite pura, altre di granito, altre ancora di basalto olivino. (Il basalto è una roccia vulcanica e l'olivina è un minerale che si trova in esso.)

Le pietre usate come martelli e l'andesite delle pietre da costruzione hanno pressappoco la stessa durezza. La durezza si misura con la scala di Mohs. Nella scala di Mohs il talco, il minerale più tenero, ha durezza 1, mentre il diamante, il più duro, ha durezza 10. Le pietre da percussione da me trovate nella Cava dei lama hanno una durezza di 5,5 circa, pressappoco la stessa durezza dell'andesite dei blocchi da costruzione. Le pietre usate come martelli sono però più dure dell'andesite, la quale, avendo subito un raffreddamento differenziale durante la formazione ha accumulato al suo interno delle tensioni. Quando l'andesite viene colpita, le tensioni si liberano provocando la frammentazione della roccia. Di conseguenza, i ciottoli di fiume possono essere utilizzati efficacemente come martelli per squadrare e rifinire le pietre da costruzione.

Evidentemente i tagliapietre inca usavano «martelli» di dimensioni diverse nelle varie fasi del processo di produzione dei conci. Nella ricerca che ho condotto nei siti delle cave ho trovato tre gruppi di percussori. Il primo gruppo includeva pietre con un peso compreso tra otto e 10 chilogrammi, il secondo pietre con un peso compreso tra due e cinque chilogrammi e il terzo pietre di peso inferiore a un chilogrammo. Sono convinto che ogni gruppo avesse una funzione specifica. I percussori più grossi potrebbero essere serviti per il lavoro di sgrossatura e squadratura dei blocchi dopo il loro distacco dalla superficie della roccia. La maggior parte dei blocchi non rifiniti presenta tracce di scheggia-

BORG M&P

# APRILE GENIUS

VIVERE LA CIVILTÀ ELETTRONICA

## MEDICINA

**Conquiste e prospettive  
nella sfida tecnologica  
alle grandi malattie del secolo.**

**FEDERICO EX MACHINA**  
Genius intervista Fellini.

## PSICOLOGIA

**Quando un bambino  
gioca con un robot.**

## NUOVI MEDIA

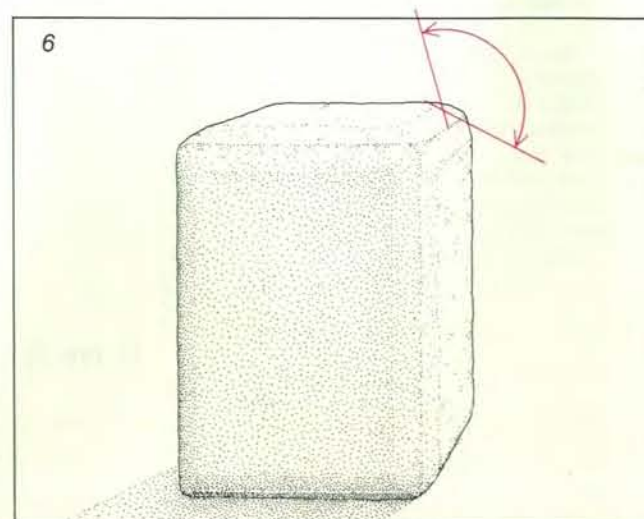
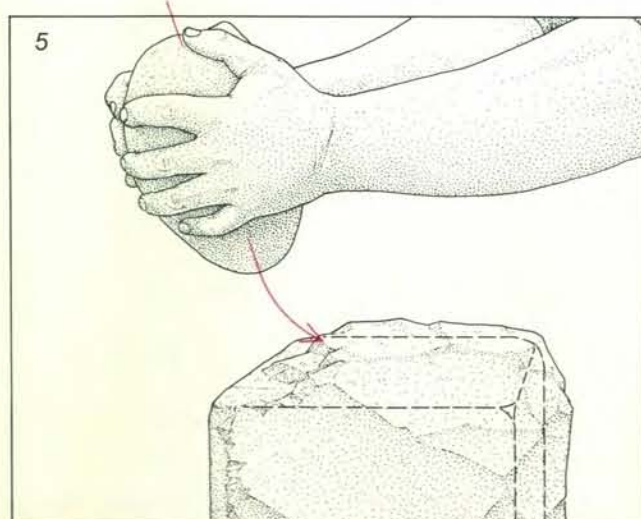
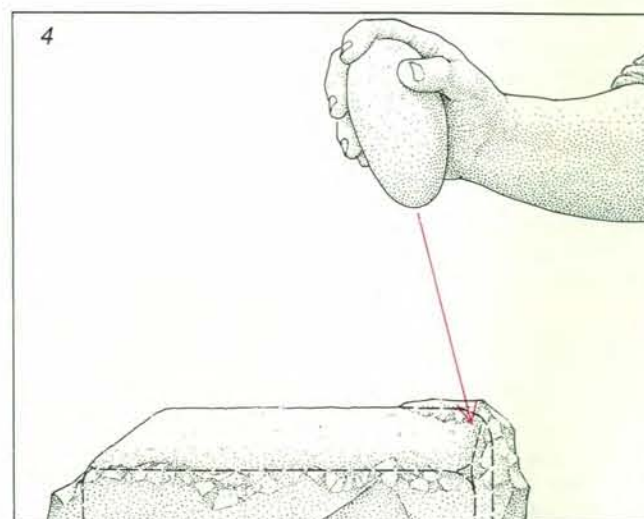
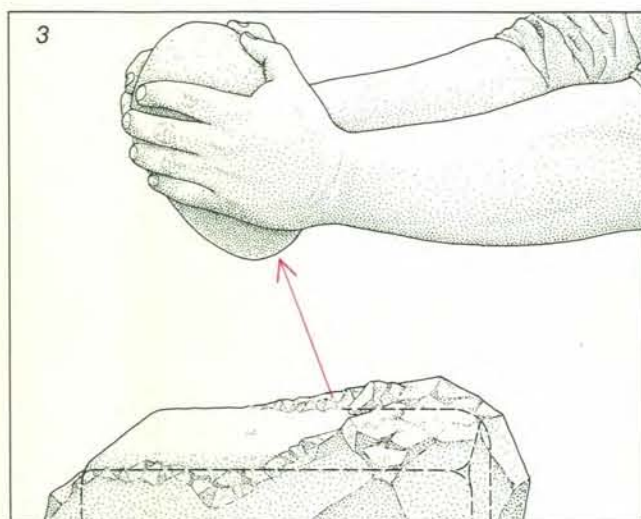
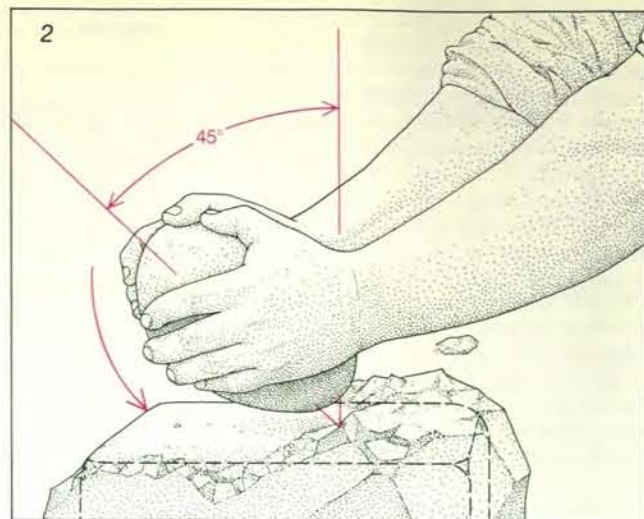
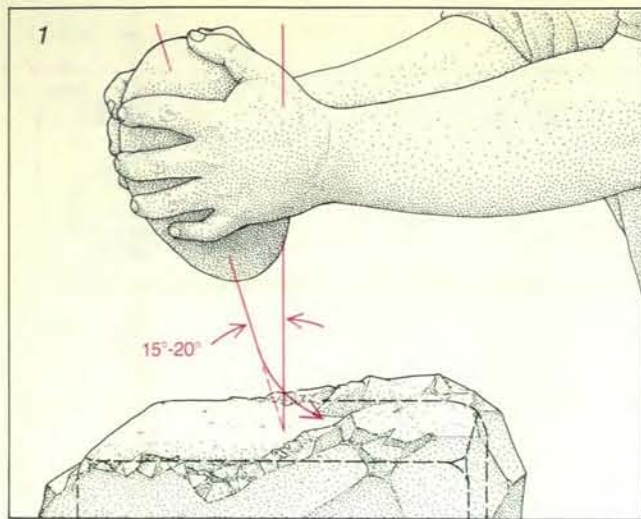
**Che cosa preparano  
i maghi di Boston.**

## ARCHEOLOGIA

**Il museo di domani è sotto il mare.**

## PETROLIO

**Piattaforme giganti:  
riusciremo a farle di plastica?**



Un esperimento compiuto dall'autore rivela come i tagliapietre incaici avrebbero squadrate i blocchi da costruzione. Dopo aver grosso modo squadrate un blocco di andesite (una roccia vulcanica) prelevato dalla Cava dei lama, l'autore ha preso una pietra di circa quattro chilogrammi e l'ha usata per martellare una delle sei facce (1). Il percussore era tenuto senza eccessivo sforzo fra le mani, che si limitavano a guidarne la caduta sulla pietra a un angolo di 15-20 gradi dalla normale. Immediatamente prima di colpire la pietra, al percussore veniva impartita un'ulteriore inclinazione con il polso, cosicché l'angolo diveniva di circa 45 gradi

(2). Dopo ogni colpo, il percussore rimbalzava di circa 25 centimetri (3). Terminata la lavorazione della prima faccia, il blocco era lasciato nella stessa posizione e si passava a un percussore più piccolo per rifinire gli spigoli della faccia successiva (4). Il percussore più piccolo, che pesava 560 grammi, era tenuto saldamente in mano, per impartire colpi di striscio dallo spigolo verso l'esterno. Poi il blocco era ruotato in modo da usare sulla seconda faccia il percussore più grosso (5). La tecnica ha dato come risultato un blocco dagli angoli leggermente convessi, molto simili a quelli che si osservano nei blocchi in pietra degli inca (6).

tura caratteristiche, simili a quelle che si osservano sugli utensili in pietra scheggiata, ma molto più grandi. I segni di scheggiatura sono stati probabilmente prodotti dai grossi percussori, usati per la squadatura. I percussori medi servivano probabilmente per rifinire le superfici dei blocchi e i più piccoli per gli spigoli.

Per accertare se i tagliapietre inca potessero avere usato i tre gruppi di percussori in questo modo sono passato dall'osservazione alla sperimentazione. La materia prima del mio esperimento è stato un pezzo grezzo di andesite che misurava circa 25 x 25 x 30 centimetri. Usando come percussore una pietra di quattro chilogrammi circa, ho eliminato le sporgenze maggiori per dare al blocco di andesite la forma approssimativa di un parallelepipedo. Per raggiungere lo scopo sono stati sufficienti sei colpi. L'obiettivo successivo è stato quello di spianare una delle sei facce del blocco. A questo scopo ho scelto un percussore diverso, sempre del peso di quattro chilogrammi circa, e con esso ho cominciato a martellare il blocco. Si potrebbe pensare che impugnare per un periodo prolungato una pietra di quattro chilogrammi sia faticoso. Il lavoro è facilitato, invece, dalla gravità. Senza bisogno di impugnare il percussore con forza, lo si può lasciar cadere sulla superficie del blocco, guidandolo semplicemente con entrambe le mani. Agendo in questo modo il percussore rimbalzerà sul blocco di andesite di 15-25 centimetri cosicché lo si potrà lasciar cadere di nuovo su di esso. L'operazione può così essere ripetuta per un lungo periodo e lo sforzo richiesto è piccolo.

Lavorando in questo modo si darebbe però forma al blocco essenzialmente rompendo la pietra. Se invece il percussore viene diretto sulla superficie del blocco a un angolo compreso fra 15 e 20 gradi dalla normale (perpendicolare), si staccano piccole schegge e l'operazione di taglio viene molto accelerata. Ho trovato che l'efficienza del colpo può essere ulteriormente aumentata dando al percussore una maggiore inclinazione con il polso subito prima che esso entri in contatto con la superficie del blocco. La torsione del polso fa aumentare l'angolo di impatto a 40-45 gradi rispetto alla normale (si veda l'illustrazione nella pagina a fronte). Il meccanismo con il quale aumentando l'angolo aumenta l'efficacia del taglio si può spiegare facilmente. Quando il percussore è calato verticalmente, la forza del colpo si converte in compressione, la quale frantuma la roccia. Se il colpo è deviato dalla verticale, alla compressione si aggiunge una forza di taglio, la quale aumenta all'aumentare dell'angolo del colpo: è la forza di taglio a staccare le minuscole schegge di pietra, accelerando l'operazione.

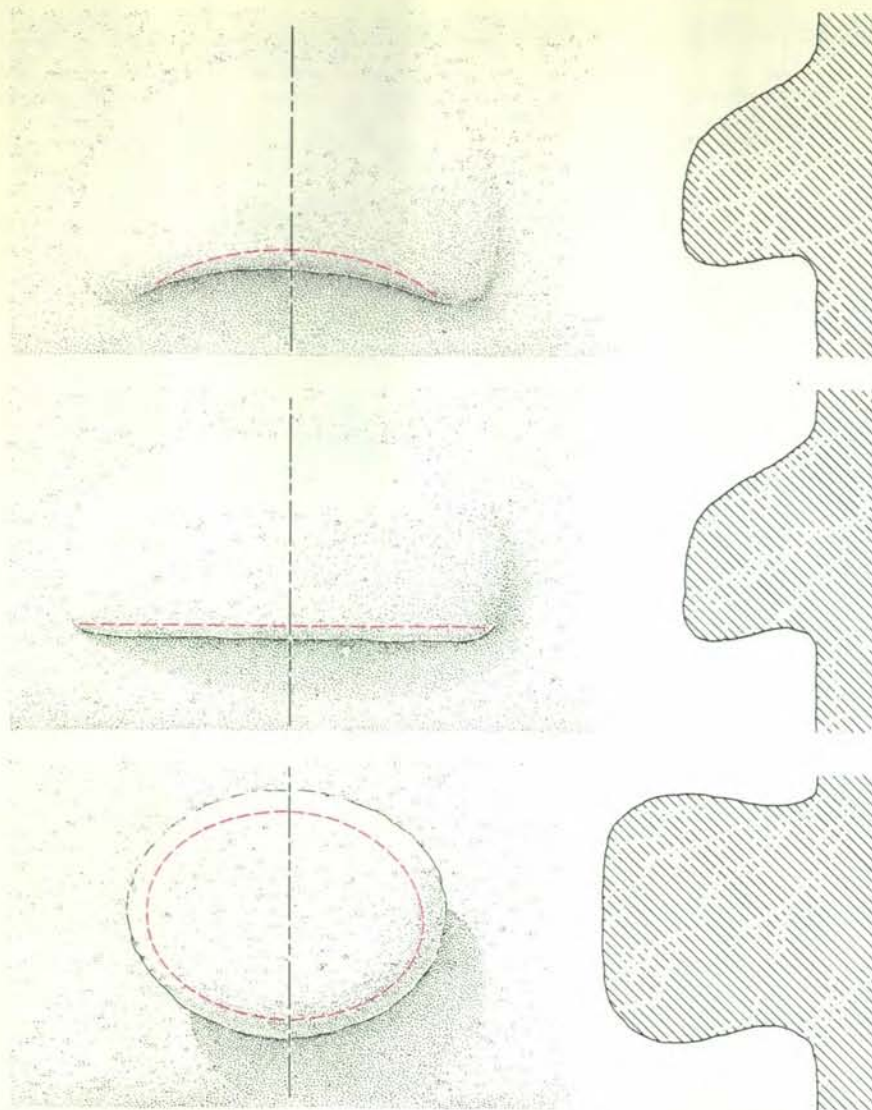
Dopo che una delle sei facce del blocco è stata spianata, il tagliapietre deve mutare tecnica. Se il blocco venisse semplicemente ruotato e si usasse lo stesso percussore per squadrate la nuova faccia, senza dubbio dagli spigoli di questa i colpi del grosso percussore staccerebbero grandi scheg-



Questo muro demolito a Ollantaytambo fornisce indizi sul modo in cui gli inca facevano combaciare i conci. Ogni depressione concava indica il punto da cui è stata tolta una pietra sovrastante. Le depressioni venivano eseguite con precisione martellando il blocco con una pietra sino a ottenere una corrispondenza perfetta con la superficie inferiore della pietra che vi veniva posata sopra.



I segni di trascinato sulla faccia inferiore di un blocco trovato a Ollantaytambo suggeriscono che alcune pietre fossero trasportate fino al sito di costruzione sulle strade incaiche ricoperte di ghiaia. I segni possono essere analizzati per determinare la direzione in cui il blocco veniva trascinato. Per esempio, la depressione circolare (a sinistra del centro) è delimitata in modo netto a sinistra e in modo smussato a destra. Quando il blocco veniva trascinato, la ghiaia finiva nella depressione sotto al bordo anteriore, che rimaneva netto. Raggiunta la parte posteriore della depressione, essa era compressa fra fondo stradale e bordo posteriore della rientranza, che si usurava e smussava. Questo fa pensare che il blocco fotografato sia stato trascinato verso sinistra.



Le sporgenze sui blocchi da costruzione degli inca hanno varie forme, corrispondenti probabilmente a funzioni specifiche. Un tipo (in alto) è adatto all'applicazione di leve. Un altro (in basso) sarebbe servito a legarvi funi. Un terzo (al centro) potrebbe avere assolto entrambe le funzioni.

ge. Per evitare l'inconveniente, il tagliapietra deve passare a un percussore più piccolo per formare gli spigoli della nuova faccia prima che venga spianata la parte centrale. Per questo lavoro ho usato una pietra del peso di circa 560 grammi. Il metodo è del tutto diverso da quello del taglio della faccia: anziché colpire la superficie del blocco più o meno verticalmente, il percussore colpisce lo spigolo di striscio. La gravità ha poca parte nel lavoro compiuto sullo spigolo del blocco. Il percussore da 560 grammi è troppo piccolo per essere lasciato cadere e fatto poi rimbalzare. Esso deve essere tenuto saldamente in mano e la forza del colpo viene esclusivamente dal braccio del tagliapietra.

Una volta che siano stati formati gli spigoli, il blocco può essere ruotato. Il percussore piccolo viene messo da parte e il tagliapietra riprende il percussore più

pesante per spianare la nuova faccia. Sul mio concio ho spianato due facce dopo la prima provando vari altri percussori di peso compreso fra 3,5 e quattro chilogrammi. A lavoro ultimato, ho ottenuto un blocco abbastanza ben squadrato. L'intero processo, dalla squadratura del blocco alla formazione di cinque spigoli e alla spianatura di tre facce, non ha richiesto più di 90 minuti. Il mio esperimento dimostra che le pietre da costruzione possono essere estratte, sgrossate e squadrate usando utensili semplici, in un modo che richiede poco tempo o sforzo. Il problema successivo è vedere se questi siano realmente i metodi usati dagli inca.

Le prove di ordine fisico in base alle quali gli inca avrebbero usato tecniche simili a quelle da me sperimentate sono numerose. Sulle pietre di tutti i muri incaici, a prescindere dal tipo di roccia, si trovano segni del distacco di schegge simili a quelli

lasciati dal mio lavoro sul concio sperimentale. Se il blocco è di calcare, nel segno lasciato dal distacco della scheggia o attorno a esso vi sarebbe uno scolorimento biancastro. Le chiazze bianche indicano senza dubbio una parziale metamorfosi del calcare conseguente al calore generato dalla percussione. Su ogni pietra da me esaminata i segni di scheggiatura sono più piccoli verso gli spigoli che al centro delle facce, a dimostrazione del fatto che i percussori usati per formare gli spigoli erano più piccoli di quelli usati al centro delle facce. Altri dati provengono dal cronista coevo Garcilaso de la Vega, noto come «el Inca». Figlio di un conquistador e di una principessa inca, egli scrisse nel 1609 che gli inca «non hanno per lavorare la pietra altri utensili se non alcune pietre nere... con le quali squadrono i blocchi martellandoli piuttosto che tagliandoli».

La questione forse più interessante di tutte riguarda non l'estrazione o la squadratura dei blocchi, ma il modo in cui le grandi pietre venivano fatte combaciare con tanta precisione. Le commessure sono di due tipi principali: di base e laterali. Quelle di base sono le giunzioni orizzontali attraverso le quali la maggior parte del peso di un blocco viene trasmesso al corso, o serie di pietre, sottostante. Le commessure laterali sono le giunzioni fra pietre dello stesso corso e attraverso di esse si trasmette poco peso o niente affatto. Mi occuperò qui in particolare delle giunzioni di base.

Dopo avere esaminato molti muri incaici sono giunto alla conclusione che, quando ne veniva costruito uno, le commessure di base venivano realizzate lavorando la faccia superiore dei blocchi del corso già messo in opera, sul quale venivano appoggiate a secco le pietre del corso successivo. Le superfici delle pietre erano in generale lievemente convesse e la faccia superiore delle pietre già in opera, che dovevano accoglierle, veniva perciò lavorata in modo da renderla concava. Dovunque ci si imbatteva in un muro demolito, si possono osservare chiaramente le depressioni concave nelle pietre dei corsi rimasti in piedi; in esse si rilevano precise impronte lasciate dalla parte inferiore delle pietre rimosse (si veda l'illustrazione in alto a pagina 63). Queste depressioni concave non concordano con un'ipotesi che è stata spesso suggerita riguardo alle opere murarie incaiche, ossia che le pietre contigue venissero sfregate l'una contro l'altra per ottenere un perfetto combaciamento. È chiaro che, sfregando due superfici fra loro non è possibile conseguire giunzioni perfette concavo-convexe come quelle da me osservate. In quale modo dunque veniva ottenuta questa mirabile corrispondenza?

Come per la squadratura delle pietre, ho tentato di cimentarmi nel compito di imparare in quale modo lavorassero gli inca per riuscire a fare combaciare perfettamente i conci. In questo esperimento ho utilizzato il blocco di andesite già usato nell'esperimento di squadratura e un bloc-

co più grosso, in cui scavare la concavità della commessura di base che doveva accogliere la pietra superiore. Cominciai il lavoro ponendo il blocco più piccolo su quello più grande e disegnandone il contorno. Tolti il blocco più piccolo e, usando il contorno come guida, ho scavato nel blocco più grande, con un lavoro di martellatura, una depressione corrispondente alla forma complessiva della faccia inferiore della pietra più piccola. Il lavoro di percussione produceva abbondante polvere, che doveva essere spazzata via. La polvere ostacola, infatti, il lavoro perché smorza i colpi del percussore; tuttavia essa è anche utile: quando il blocco superiore viene posato di nuovo per prova sul blocco sottostante, lascia nella polvere un'impronta della sua superficie inferiore. La polvere viene compressa nei punti di contatto, mentre non è compressa affatto dove le due pietre non combaciano. Tolta la pietra, si continua a colpire nei punti di contatto, indicati dalle aree dove la polvere è stata compressa. Ripetendo varie volte questo procedimento, è possibile ottenere alla fine una corrispondenza tanto precisa quanto la si desidera.

La stessa tecnica può essere utilizzata per formare le commessure laterali. Il nuovo concio che deve essere aggiunto al corso viene accostato ai blocchi già in opera e su questi si scavano depressioni concave. Le commessure laterali differiscono da quelle di base per il fatto che la corrispondenza perfetta che si osserva guardando il muro frontalmente prosegue, a volte, per pochi centimetri, mentre la parte più interna della commessura è riempita da pietrisco. In molti casi, però, le commessure laterali combaciano sull'intera superficie di contatto con la stessa perfezione delle commessure di base.

È chiaro che la tecnica usata dagli inca per far combaciare i blocchi di pietra consisteva in gran parte nel procedere per tentativi ed errori. Questo è un metodo laborioso, specialmente se si considerano le dimensioni colossali di alcuni dei blocchi di pietra usati a Sacahuamán e a Ollantaytambo. Si deve però tener presente che tempo e mano d'opera non costituivano un problema per gli inca, i quali non avevano una nozione europea del tempo e disponevano di una grande abbondanza di mano d'opera che era il tributo dei popoli conquistati. I miei esperimenti dimostrano, inoltre, che con un poco di pratica si fa presto l'occhio alle corrispondenze fra superfici, cosicché il tempo necessario per ottenere commessure soddisfacenti si riduce di molto. A favore del mio metodo si può sottolineare che esso funziona e, inoltre, non richiede utensili diversi da quelli effettivamente documentati. Esso ha in più il sostegno di almeno due autori del Cinquecento. Uno di loro, José de Acosta, un gesuita che viaggiò con i conquistadores spagnoli ed è considerato un osservatore molto attendibile, scrisse nel 1589: «Tutto questo fu realizzato con molta mano d'opera e molta pazienza nel lavoro, poiché per adattare una pietra all'altra, finché

combaciassero perfettamente, era necessario compiere molte prove.»

Io ritengo che i miei esperimenti forniscano una spiegazione ragionevole del metodo con cui i tagliapietre inca estraevano le pietre, le squadravano e le facevano combaciare. In che modo i blocchi venissero trasportati al sito di costruzione e come venissero manovrati, una volta giunti alla sede definitiva, sono interrogativi che non hanno invece trovato finora alcuna risposta soddisfacente.

Nel manovrare i massi, che erano spesso molto pesanti, avevano senza dubbio una funzione importante le sporgenze lasciate sulle loro superfici. Con una grande varietà di dimensioni e di forme (si veda l'illustrazione alla pagina 64), queste protuberanze si trovano in generale sulla parte inferiore di un blocco già messo in opera e potrebbero essere state utilizzate per attaccarvi delle corde, o come punti ai quali applicare la forza di una leva. A quanto pare, esse venivano scolpite sui conci soltanto nel sito di costruzione e la loro funzione specifica doveva essere quella di facilitare la manovra dei massi. Poiché nessuno dei blocchi di pietra abbandonati lungo le strade di trasporto presenta sporgenze, sembrerebbe che queste non avessero alcuna funzione nel trasporto dei blocchi al sito di costruzione.

Come venivano trasportati i blocchi? Qualche indizio preliminare è fornito dai blocchi sparsi, che si trovano a Ollantaytambo. Su questi blocchi si può osservare un particolare logorio contrassegnato da striature longitudinali più o meno parallele. Tanto il logorio quanto le striature sembrano essere il risultato del trascinarsi dei blocchi dalle cave al sito di costruzione. La direzione in cui il blocco veniva trascinato può essere determinata facilmente dai segni. Se si esamina attentamente la superficie di un blocco, si scoprono aree dalla forma irregolare che non sono state usurate perché sono leggermente rientranti. Queste aree hanno in generale una delimitazione netta su un lato e una delimitazione smussata, graduale, sull'altro. Quando il masso veniva trascinato, il bordo netto si trovava nella parte anteriore e quello smussato nella parte posteriore. La ghiaia del fondo stradale doveva accumularsi nella parte posteriore della depressione e doveva rimanere compressa fra il blocco e la strada, logorando in tal modo l'area del bordo posteriore.

Altre caratteristiche dei blocchi contribuiscono a darci un quadro più completo di come essi venissero trasportati. Il logorio si trova solo sulla superficie più grande della pietra, suggerendo che i blocchi venissero trascinati nella loro posizione più stabile. I blocchi trovati nella cava non presentano logorio e l'estensione della superficie usurata aumenta con la distanza dalla cava. La presenza del logorio toglie verosimiglianza all'ipotesi che gli inca trasportassero le pietre più grandi su rulli o scivoli. Le tracce di trascinamento non escludono la possibilità che rulli o scivoli venissero usati nelle parti delle rampe si-

tuate più in alto sulla collina, ma non è stata trovata alcuna traccia materiale di tali attrezzi.

Se i blocchi venivano trascinati lungo le rampe di accesso, gli inca devono aver dedicato a questo compito una mano d'opera considerevole, particolarmente per i blocchi più grossi. La forza richiesta per trascinare un blocco dipende dal coefficiente d'attrito tra la pietra e il materiale della rampa, dalla pendenza della rampa e dal peso del blocco. Ho determinato sperimentalmente il coefficiente d'attrito e ho trovato che la pendenza della rampa di Ollantaytambo era di circa 10 gradi. A Ollantaytambo il blocco più grosso pesa circa 140 tonnellate. Ho calcolato che per trascinare un blocco del genere su per la rampa occorrerebbe una forza di circa 120 400 chilogrammi. Ammesso che un uomo possa esercitare una trazione costante con una forza di 50 chilogrammi (che potrebbe essere un stima sbagliata per eccesso), occorrerebbero circa 2400 uomini per trascinare il blocco sino alla cima della rampa. Questa cifra concorda (almeno come ordine di grandezza) con la testimonianza dell'autore cinquecentesco Pedro Cieza de León, il quale osservò che, dei 20 000 uomini assegnati alla costruzione di Sacahuamán, 6000 erano incaricati del trasporto.

Quanto si è detto fin qui sembra ragionevole, ma non sgombra il terreno da interrogativi ai quali non sono stato in grado finora di dare una risposta. Le rampe degli inca erano larghe solo da sei a otto metri e io non sono riuscito a trovare soluzioni plausibili a due problemi posti da questa dimensione ridotta. Uno è in che modo 2000 o più uomini potessero essere «imbrigliati» in modo che ciascuno di loro potesse cooperare al trascinamento del blocco. L'altro è in che modo una folla così grande potesse trovare posto su una rampa tanto stretta. Questi sono solo due dei problemi irrisolti concernenti il trasporto dei blocchi. Fra gli altri vi sono le tecniche per legare le funi ai blocchi e i metodi per manovrare i colossali blocchi di pietra.

Inoltre, le pietre provenienti da Rumiqolqa probabilmente non venivano trascinate. Diversamente dai blocchi di Kachiqhata, quelli di Rumiqolqa venivano squadrate con cura prima di lasciare la cava. Su di essi non si trova alcuna traccia di trascinamento e pare del resto irragionevole pensare che una faccia ben rifinita venisse trascinata su una rampa di pietre. Come venivano dunque trasportati i blocchi perfettamente squadrate? Prima che si possa dare una versione definitiva alle tecniche di costruzione in pietra degli inca si dovrà trovare una risposta a questi e a molti altri interrogativi. Quindi gli studi sono tutt'altro che terminati. Per ora, la sperimentazione e l'osservazione ci hanno permesso di dare molte risposte ad alcuni fra i quesiti fondamentali concernenti l'estrazione, la squadatura e il perfetto combaciamento delle pietre da costruzione.