H A T

SPERIMENTAZIONE DI UN BLOCCO A MATRICE CEMENTIZIA FIBRORINFORZATO CON BAMBÙ PER IL MERCATO DELLE COSRTUZIONI HAITIANO

POLITECNICO DI TORINO - A.A. 2018/19 LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

H A I T

SPERIMENTAZIONE DI UN BLOCCO A MATRICE CEMENTIZIA FIBRORINFORZATO CON BAMBÙ PER IL MERCATO DELLE COSRTUZIONI HAITIANO

Davide Damigella

Relatore: **Prof. Andrea Bocco**Corelatrice: **Arch. Angela Lacirignola**

INDICE/CONTENTS

duzion luction		
	QUADRAMENTO STORICO-TERRITORIALE TORICAL-TERRITORIAL FRAMEWORK	
ПIЗ 1.1	La storia/History	(
1.2	L'ambiente/Environment	
1.3	L'economia/Economy	
1.4	La condizione sociale/Social condition	
	RCHITETTURA HAITIANA TIAN ARCHITECTURE L'evoluzione dell'architettura haitiana/The evolution of haitian architecture	
2.1	Il calcestruzzo ad Haiti/Concrete in Haiti	
2.3	La filiera non controllata/The non-controlled supply chain	
2.4	L'esperienza di Build Change e REZO/Build Change and REZO experience	
2.5	Le grandi imprese/Largest companies	
	BAMBÙ	
BA <i>l</i>	MBOO	
3.1	La pianta/The plant	
3.2	Proprietà e standard internazionali/Properties and international standards	
3.3	Il bambù ad Haiti/Bamboo in Haiti	
3.4	L'esperienza di Kenscoff/The Kenscoff experience	
3.5	L'esperienza di Marmelade/The Marmelade experience	

4		ERCA TECNOLOGICA HNOLOGICAL RESEARCH	
	4.1 4.2 4.3 4.4	Premesse/Premises Il bambù come armatura/Bamboo as rebar I limiti del bambù come armatura/The limits of bamboo as rebar Blocchi in calcestruzzo con fibra di bambù/Bamboo fiber reinforced concrete blocks	96 97 104 108
5		RIMENTAZIONE ERIMENTATION	
	5.1 5.2 5.3 5.4	Estrazione della fibra di bambù/Fiber bamboo extraction Mix design Test e osservazioni finali/Test and final remarks Schede tecniche/Datasheet	116 120 126 132
Conclus Conclus			XIII
Riferim Photo re		otografici ces	IXX
		sitografia Ind sitography	XXIII

Ι

Introduzione

Dopo innumerevoli periodi bui, guerre, rivolte, dittature, poi finalmente l'indipendenza, la Repubblica di Haiti si trova oggi in un momento di relativa tranquillità politica e sociale, nonostante debba ancora affrontare i fantasmi del proprio passato: un'economia che stenta a crescere, che rende Haiti uno dei Paesi più poveri al mondo, sicuramente il più povero delle Americhe; un terremoto che deve ancora essere smaltito, che ha lasciato troppo sconforto, troppi morti, in un Paese dove il tasso di mortalità è tra i più elevati (il quinto al mondo); una mancanza di beni di prima necessità, accesso sicuro all'acqua, al cibo, alla rete elettrica troppo ristretto; una confusione e un senso di disorientamento tale da poter essere percepito negli occhi della gente e che si manifesta come una mancanza di identità sociale e architettonica.

Oggi l'architettura haitiana può essere definita come una 'concrete jungle', per usare un termine sentito proprio qui ad Haiti, una giungla di cemento, un sistema edilizio che si basa quasi esclusivamente sul calcestruzzo. Senza dubbio il materiale principe, il più presente, il più utilizzato, ma anche la principale causa della trasformazione del territorio, da una parte con l'intento di rimodernare l'edilizia locale, dall'altra deturpando la propria stessa terra. L'uso e l'abuso di questo materiale, probabilmente dovuto al confronto continuo con i più vicini Paesi benestanti (Stati Uniti, Sud America, Repubblica Dominicana), ha reso l'architettura haitiana sterile, incapace di uscire dal pensiero comune che, oltre al calcestruzzo, possano esistere altri materiali da costruzione altrettanto

performanti. Soprattutto se il calcestruzzo in questione non viene realizzato a regola d'arte a causa della mancanza di conoscenza, di materiale non adeguato e da un impiego sbagliato di tali materie. Il calcestruzzo sovrasta in percentuale l'utilizzo di altri materiali da costruzione, poco presenti sull'isola, a volte troppo costosi e difficili da reperire. Gli haitiani si sentono senza alternative, quasi costretti a utilizzare il calcestruzzo per le loro abitazioni, per stare al sicuro dalle disgrazie, per evitare ciò che accadde in quel maledetto 2010. Ma le alternative ci sono e non bisogna andare nemmeno troppo lontano per trovarle.

Il bambù ad Haiti non è di certo un materiale largamente utilizzato, non rientra nei canoni dell'architettura haitiana e si vedono pochi esempi di strutture in bambù, in aree ristrette dell'isola, prevalentemente nelle zone rurali e di montagna. Tuttavia esso è presente e rappresenta un grande potenziale, avendo l'isola un clima tropicale adatto alla crescita e allo sviluppo della pianta. Il bambù c'è, perché non sfruttarlo? Perché non sostenere il suo impiego in ambito architettonico? Proprio il materiale che viene definito come 'acciaio vegetale', per le sue caratteristiche meccaniche, viene quasi snobbato dagli abitanti quando invece potrebbe essere un'ancora di salvezza. Proprio grazie alle sue proprietà, il suo impiego come rinforzo per il calcestruzzo garantirebbe il soddisfacimento delle esigenze culturali del popolo, andando inoltre a contribuire positivamente in termini economici e ambientali, riducendo l'impiego di cemento, sabbia e ghiaia. Il tentativo di integrazione tra calcestruzzo e bambù ha come obiettivo quello

di offrire al settore edilizio haitiano una nuova proposta tecnologica in grado di soddisfare le esigenze economiche e culturali del Paese, oltre a contribuire a livello ambientale e prestazionale. Questo caso studio potrebbe essere di riferimento per molti altri Paesi che, come Haiti, affrontano condizioni simili o addirittura peggiori, e vorrei che il messaggio all'interno di questa tesi venisse visto come un tentativo di fare del bene.

La possibilità di una tesi all'estero, ad Haiti, mi ha dato l'opportunità di vedere un posto inesplorato, di conoscere una cultura nuova, di immergermi in scenari mai visti prima. Ho avuto l'opportunità di conoscere la povertà, quella vera. Ma la questione era: come la si affronta? Cosa si fa per sconfiggerla? Questo era il mio interrogativo, un po' lo è anche adesso. Di certo non è un interrogativo semplice da risolvere, non è neanche lo scopo di questa tesi, ma lavorare in un contesto così drammatico, che mi ha fatto sentire impotente in alcuni momenti, mi ha dato gli stimoli necessari ad affrontare questa prova. Passo dopo passo, un mattone alla volta, giusto per introdurre il tema, ho iniziato a pensare a qualcosa che potesse dare un contributo, seppur minimo, cercando di ottenere un buon risultato anche in una situazione estrema, trasformando le criticità e le debolezze in opportunità per Haiti.

Per questo motivo il primo passo è stato quello di conoscere e di vivere Haiti: per tre mesi, sebbene non siano sufficienti per conoscere interamente un Paese, ho vissuto qui, ho conosciuto la gente del posto, ho visto con i miei occhi cose

senza le quali non avrei potuto scrivere una parola. Il tutto è stato merito della collaborazione con il relatore, il Professore Andrea Bocco, e l'associazione ASF (Architettura Senza Frontiere) Piemonte - Italia, coordinata da Valeria Cottino e Annalisa Mosetto. Loro hanno reso possibile il viaggio e senza di loro questa tesi non esisterebbe. Il lavoro di ASF è stato fondamentale per potermi integrare al meglio nel villaggio in cui ho vissuto e per la rete di contatti necessaria a muovermi nel Paese: dal villaggio ViaVai, in Croix des Bouquets, poco distante da Port-au-Prince, ho iniziato la mia esperienza alla scoperta di Haiti.

Per prima cosa, dunque, verrà introdotto il contesto all'interno del quale ho operato. Partendo dalla storia di Haiti, travagliata e dinamica, in continuo mutamento, che ha messo a dura prova i suoi abitanti, sempre capaci di rimettersi in piedi, forti e pazienti. Durante il mio viaggio ho sentito più volte parlare di 'pazienza haitiana'. Non è la solita 'pazienza' che intendiamo noi, è molto di più: è capacità di sopportazione, è resilienza, voglia di andare avanti nonostante tutto. Qui spesso i tentativi di ricostruzione vengono azzerati da uragani e terremoti che periodicamente colpiscono questa terra. Un sisma, di magnitudo 5.9, ha scosso Haiti durante la mia permanenza: non aveva la forza distruttiva che nel 2010 ha spazzato via centinaia di migliaia di vite, ma mi ha permesso di constatare il rischio continuo che gli abitanti affrontano vivendo in abitazioni a dir poco precarie.

Nel secondo capitolo approfondirò il tema relativo alla scarsa qualità di queste

V

abitazioni, che mettono costantemente in pericolo chi ci abita: un'analisi condotta sul posto, in diverse città del Paese, mi ha permesso di documentare le varie fasi della filiera produttiva del calcestruzzo, dalla materia prima al blocco finito. Un racconto graduale, dalla cosiddetta 'filiera non controllata' che riguarda tutte le piccole attività abusive che realizzano calcestruzzo di pessima qualità e che, purtroppo producono la maggior parte del calcestruzzo presente sull'isola; fino alle piccole imprese, che invece si battono per migliorare gli standard qualitativi, fornendo nuove conoscenze e nuovi mezzi.

Il terzo capitolo racconta le caratteristiche del bambù, una pianta diffusa ad Haiti ma poco sfruttata. Qui i materiali di origine vegetale vengono poco apprezzati per impieghi in edilizia e, nonostante il bambù possieda delle ottime proprietà meccaniche (e non solo), ha spesso un ruolo marginale. L'analisi condotta tra Kenscoff e Marmelade documenta le varie specie di bambù presenti nell'isola e i vari impieghi, tra cui quello in combinazione con il calcestruzzo o con paste cementizie, che mi ha dato l'imput per la successiva proposta tecnologica.

Una prima ricerca sull'utilizzo del bambù come rinforzo per elementi in calcestruzzo mi ha portato ad indagare su una possibile applicazione del bambù come armatura. Le caratteristiche del bambù potrebbero infatti essere adatte a sostituire le barre metalliche che ad Haiti vengono totalmente importate e spesso male impiegate. I due materiali però non hanno una sufficiente compatibilità dal punto di vista di aderenza e dilatazione termica, che compromette l'efficienza

di questa tecnologia. Ho condotto una seconda ricerca sull'utilizzo della fibra di bambù all'interno del calcestruzzo come alleggerimento e rinforzo per blocchi. Valutando la fattibilità e l'efficienza di questa soluzione ho iniziato la fase di sperimentazione nel LaSTIn del Politecnico di Torino, con il contributo di Angela Lacirignola, che mi ha accompagnato in ogni fase del lavoro. Ho proceduto con la sfibratura del bambù e con la realizzazione degli impasti, il tutto in maniera tale da poter essere replicato ad Haiti. Ho ipotizzato varie miscele di cemento e aggregati e varie percentuali di fibra di bambù per realizzare due serie di blocchi fibrorinforzati (tre blocchi per ogni percentuale di fibra di bambù). Una volta terminata la stagionatura del calcestruzzo, ho testato i provini per verificare le variazioni di resistenza a compressione e altre caratteristiche quali peso specifico e comportamento a rottura, al variare della fibra di bambù all'interno.

Sebbene la sperimentazione avesse potuto continuare, per una maggiore completezza di dati, posso ritenermi soddisfatto del percorso intrapreso, di questa esperienza che adesso porto con me e che proverò, per quel che mi riesce, a condividere con voi.

Introduction

After countless dark periods, wars, riots, dictatorships, then finally independence, the Republic of Haiti is facing a moment of relative political and social stability, despite the ghosts of its own past still being present: an economy that is struggling to grow, makes Haiti one of the poorest countries in the world, certainly the poorest in the Americas; an earthquake that has yet to be disposed of, that has left too much despair, too many deaths, in a country where the mortality rate is among the highest (the fifth in the world); a lack of primary goods, safe access to water, food, electricity too limited; confusion and sense of disorientation can be perceived inside people's eyes and manifests itself as a lack of social and architectural identity.

Today Haitian architecture can be defined as a 'concrete jungle', using a term heard right here in Haiti, a building system based almost exclusively on concrete. Definitely the main material, the most present, the most used, but also the main cause of environmental transformation, on one side with the aim of modernizing the local building, on the other disfiguring its own land. The use and abuse of this material, probably due to the continuous comparison with the nearest wealthy countries (United States, South America, Dominican Republic), has made the Haitian architecture sterile, unable to get out of the common thought that, besides to concrete, there may be other construction materials that perform equally well. Especially if concrete n question is not made to perfection due to a lack of knowledge, inadequate materials and a misuse of these materials. Concrete

VII

exceeds in percentage the use of other building materials, not very present in the Island, sometimes too expensive and difficult to find. Haitians feel themselves without other alternatives, almost forced to use concrete for their houses, to stay safe from misfortunes, to avoid what happened in that damn 2010. But the alternatives exist and not too far to find them.

Bamboo in Haiti is certainly not a widely used material, it is not belong to Haitian architecture canons and there are few examples of bamboo structures, in restricted areas, mainly in rural and mountain areas. However it is present and represents a great potential, having the island a tropical climate suitable for the growth and development of the plant. There is bamboo, why not use it? Why not support its use in architecture? Precisely that material defined as 'vegetable steel, due to its mechanical properties, is almost snubbed by inhabitants when it could instead be a lifeline. Thanks to its properties, its use as a reinforcement for concrete would guarantee the satisfaction of cultural needs, also contributing positively in economic and environmental terms, reducing the use of cement, sand and gravel.

The attempt to integrate concrete and bamboo aims to offer to the Haitian construction sector a new technological proposal capable of satisfying the economic and cultural needs of the country, as well as improving environmental and performance skills. This case study could be a reference for many other countries that, like Haiti, face similar or even worse conditions, and I would like

VIII

ΙX

the message within this thesis to be seen as an attempt to do good.

The possibility of this thesis abroad, in Haiti, gave me the opportunity to see an unexplored place, to learn about a new culture, to immerse myself in scenarios never seen before. I had the opportunity to know the real poverty. But the question was: how is it dealt with? What do you do to defeat it? This was my question, it is a bit now, too. Certainly it is not a simple question to solve, it isn't even the purpose of this thesis, but working in a such as dramatic situation, that made me feel powerless in some moments, gave me the necessary stimuli to face this test. Step by step, one brick at a time, just to introduce the topic, I started to think about something that could make a contribution, albeit minimal, trying to get a good result even in an extreme situation, transforming critical issues and weaknesses into opportunities for Haiti.

For this reason the first step was to get to know and live Haiti: for three months, even if it's not enough for a total knowledge, I lived here, I met locals inhabitants, I saw with my eyes and without this experience I could not have written a word. All this was due to the collaboration with the teacher, Professor Andrea Bocco, and the association ASF (Architettura Senza Frontiere) Piemonte - Italia, coordinated by Valeria Cottino and Annalisa Mosetto. They made the journey possible and without them this thesis would not exist. The work of ASF was fundamental in order to better integrate myself in the village where I lived and for the network of contacts necessary to move in the country: from the village

ViaVai, in Croix des Bouquets, not far from Port-au-Prince, I started my experience discovering Haiti.

First, therefore, the context within which I have operated will be introduced. Starting from the history of Haiti, troubled and dynamic, in continuous change, which has put a strain on its inhabitants, always able to get back on their feet, strong and patient. During my journey I have heard many times about 'Haitian patience'. It is not the usual 'patience' that we mean, it is much more: it is the capacity to endure, it is resilience, the desire to go on despite everything. Here often reconstruction attempts are cleared by hurricanes and earthquakes that periodically hit this land. An earthquake, of magnitude 5.9, shook Haiti during my stay: it did not have the destructive force that swept away hundreds of thousands of lives in 2010, but it allowed me to see the continuous risk that the inhabitants face by living in homes to say not very precarious.

In the second chapter I will study in deep the theme related to the poor quality of these homes, which constantly put in danger those who live there: an analysis carried out on site, in different cities of the country, allowed me to document the various phases of the concrete production chain, from raw material to the finished block. A gradual story, from the so-called 'non-controlled supply chain' which concerns all the small abusive activities that produce concrete of poor quality and which, unfortunately, produce most of the concrete present on the island; up to small businesses, which instead strive to improve quality standards,

ΧI

providing new knowledge and new means.

The third chapter tells the characteristics of bamboo, a plant widespread in Haiti but little used. Here the materials of vegetable origin are little appreciated for uses in the building and, despite the bamboo possesses excellent mechanical properties (and not only), it often has a marginal role. The analysis conducted between Kenscoff and Marmelade documents the various species of bamboo present on the island and the various uses, including that in combination with concrete or cementitious pastes, which gave me the input for the subsequent technological proposal.

A first research on the use of bamboo as reinforcement for concrete elements led me to investigate a possible application of bamboo as a rebar. The characteristics of the bamboo could in fact be suitable for replacing the metal bars that in Haiti are totally imported and often poorly used. However, the two materials do not have sufficient compatibility in terms of adhesion and thermal expansion, compromising the efficiency of this technology. I carried out a second research on the use of bamboo fiber inside concrete as lightening and reinforcement for blocks. Evaluating the feasibility and efficiency of this solution, I started the experimentation phase in the LaSTIn of the Politecnico di Toino, with the contribution of Angela Lacirignola, who accompanied me at every stage of the work. I proceeded with the defibering of the bamboo and with the making of the dough, all in such a way that it could be replicated in Haiti. I hypothesized

various mixtures of cement and aggregates and various percentages of bamboo fiber to make two series of fiber-reinforced blocks (three blocks for each percentage of bamboo fiber).

On the basis of this I started the experimentation phase in the LaSTIn of the Turin Polytechnic, with the contribution of Angela Lacirignola, who accompanied me at every stage of the work. I proceeded with the defibering of the bamboo and with the making of the dough, all in such a way that it could be replicated in Haiti. I hypothesized various mixtures, various dosages and a different percentage of bamboo fiber and finally I made my series of fiber-reinforced blocks (three blocks for each percentage of bamboo fiber). Once the curing of the concrete was completed, I tested the specimens to check the variations in compressive strength and other characteristics such as specific weight and failure behavior, as the bamboo fiber varied within. Although the experimentation could have continued, for a greater completeness of data, I can consider myself satisfied with the path undertaken, with this experience that I now carry with me and that I will try, for what I can, to share with you.

XII

CAPITOLO 1

INQUADRAMENTO STORICO-TERRITORIALE





LA STORIA/HISTORY

La descrizione del contesto all'interno del quale si sviluppa questa tesi parte del racconto della storia di Haiti: un breve riepilogo di quelli che sono stati i principali eventi storici e politici è necessario a comprendere come Haiti sia cambiata nel corso degli anni, diventando quella di oggi.

"Gli arahuaco la chiamavano Haiti, prima che i conquistadores le cambiassero il nome in La Española e massacrassero tutti i nativi. In meno di cinquant'anni non era rimasta nemmeno l'ombra di un arahuaco: erano morti tutti, vittime della schiavitù, delle malattie portate dai bianchi e suicidi." 1

In seguito alla scoperta di Cristoforo Colombo, che nel 1492 sbarcò in quella che oggi è la città di Môle-Saint Nicolas, l'isola divenne una colonia spagnola sotto il nome di Isla Española o più semplicemente Hispaniola. I conquistatori europei imposero la loro superiorità nei confronti degli impreparati indigeni e, nei 25 anni successivi, la maggior parte della popolazione Taino e Arawak venne sottomessa, uccisa o morì a causa di malattie.²

Fig. 1.1. Battaglia di Vertières, 1803.



"Erano uomini dalla pelle rossastra, capelli spessi e neri, dall'imperturbabile dignità, così miti che uno spagnolo da solo poteva batterne dieci a mani nude. [...] Quando [gli Spagnoli] ebbero sterminato gli indigeni, importarono gli schiavi rapiti in Africa e i bianchi dall'Europa." 1

All'inizio del XVII secolo i colonizzatori spagnoli si spostarono sul lato orientale dell'isola di Hispaniola (l'attuale Repubblica di Santo Domingo) per proteggere la colonia dall'attacco delle navi pirata. Tuttavia lasciarono libertà ai francesi, che sbarcarono nell'isola di Tortuga intorno al 1625, di invadere il lato occidentale. Solo nel 1664 rivendicarono il loro dominio su quella porzione di isola. Nel 1697 venne firmato il Trattato di Ryswick, un accordo di pace che consegnò alla Francia il diritto legale sulla porzione occidentale dell'isola, denominata Côte française de Saint-Domingue.³ Il dominio francese rese molto produttiva l'agricoltura locale e nel giro di pochi anni la produzione di zucchero di canna e caffè aumentò in maniera esponenziale: circa il 40% di zucchero di canna e il 60% di caffè consumati in Europa proveniva dall'isola di Hispaniola.⁴ L'economia della Francia cavalcò l'onda di tale prosperità agricola e si arricchì notevolmente con i prodotti locali: le piantagioni nella colonia erano sempre più numerose e contribuivano all'aumento della produzione, grazie al sistema che permetteva alla madrepatria di arricchirsi, la schiavitù.⁵ Con la tratta degli schiavi, l'isola si popolò di oltre mezzo milione di schiavi neri per la maggior parte provenienti dall'Africa.

La società dell'epoca comprendeva tre differenti ceti, facendo eccezione per una minoranza di indigeni o schiavi fuggiti (i cosiddetti cimarroni) che continuava a vivere nelle campagne e nelle zone montane, estranea agli avvenimenti della colonia. Vi era la popolazione europea di alto rango (i grands blancs); più numerosi erano i petits blancs, prevalentemente soldati; infine vi erano gli uomini di colore (gens de couleur, affranchis o mulatti) che vivevano da uomini liberi, con restrizioni sul praticare determinate professioni, partecipare a funzioni sociali insieme ai bianchi, sposare bianchi, indossare vestiti da bianchi. 6

"Nel frattempo la Rivoluzione francese era arrivata alla colonia come il colpo di coda di un drago, scuotendola fino alle fondamenta. I grands blancs, conservatori e monarchici, vedevano con orrore i cambiamenti; ma i petits blancs appoggiavano la Repubblica, che aveva eliminato le differenze di classe: libertà, uguaglianza e fratellanza per gli uomini bianchi." 1

La frenesia della Rivoluzione francese fu contagiosa e ben presto anche i mulatti reclamarono i propri diritti: se la schiavitù era stata abolita in Francia, non aveva motivo di esistere in una sua colonia. Approfittando delle ripercussioni che la Rivoluzione francese ebbe sulla colonia, nel 1790 i mulatti liberi diedero vita ad una prima rivolta. Nonostante essi fossero nettamente superiori in numero, vennero sconfitti dall'esercito francese che vantava una maggiore competenza ed esperienza bellica. Un nuovo esercito, reso più forte dalla partecipazione dei cimarroni, venne Tussaint Louverture, leader della guidato da rivolta. Napoleone Bonaparte inviò un nuovo esercito a sopprimere la ribellione e nel 1802 Toussaint Louverture fu catturato e morì in una prigione francese.⁷

"Ho preso le armi per la libertà di quelli del mio colore, [libertà] che solo la Francia ha proclamato, ma che nessuno ha il diritto di annullare. La nostra libertà non è nelle loro mani, ma nelle nostre. Noi la difenderemo o periremo."

Toussaint Louverture

La morte di Louverture accese ancora di più gli animi della gente di colore. Un nuovo esercito capitanato da Jean-Jacques Dessalines ebbe la meglio sui Francesi nella famosa battaglia di Vertières nel novembre del 1803.

Il 1° gennaio del 1804 l'ex colonia dichiarò la sua indipendenza (fu il secondo Paese dell'emisfero occidentale, dopo gli Stati Uniti d'America) e venne ribattezzata Haiti, in onore degli indigeni Arawak che chiamavano l'isola Ayti.8 Il governo di Dessalines durò poco più di due anni e le sue iniziative misero a dura prova l'economia del Paese.

Nel 1806 fu assassinato dai suoi rivali politici e Haiti venne divisa in due: a nord una fazione capitanata da Henri Christophe, a sud una Repubblica fondata da Alexandre Pétion. Dopo il suicidio di Christophe, che aveva perso la fiducia dei suoi sostenitori, la nazione venne riunificata sotto il nome di Repubblica di Haiti nel 1821 da Jean-Pierre Boyer, successore di Pétion.

Nonostante l'indipendenza, Haiti fu costretta a pagare alla corona francese un debito pari a circa 150 milioni di franchi, per risarcire la Francia del fatto che avesse perso la sua colonia. Una seconda invasione francese non era tollerabile e il governo haitiano non ebbe alternative: pagò la somma e l'economia del Paese ne risentì notevolmente. 10 Il paese attraversò un periodo di totale indipendenza, tuttavia non si rivelò mai in grado di

gestire economia e politica: la sola fonte di reddito erano le piantagioni da zucchero, caffè e cacao; mentre dal governo di Boyer all'occupazione degli Stati Uniti del 1915, si succedettero 22 presidenti, nessuno dei quali terminò il suo mandato.

I disordini interni iniziarono ad aumentare, in particolare i primi anni del XX secolo furono davvero traumatici per il Paese. Dopo la morte del presidente Cincinnatus Leconte, in seguito a un'esplosione nel Palazzo Nazionale, divenne presidente Guillaume Sam. Pochi mesi dopo l'inizio del mandato, a causa dell'ordine di esecuzione di 167 prigionieri politici, egli venne brutalmente assassinato da una folla di cittadini. In seguito a questa notizia il governo degli Stati Uniti decise di intervenire per porre fine all'instabilità politica di Haiti: l'esercito americano sbarcò a Port-au-Prince nel luglio del 1915, in pochi mesi gli USA presero il totale controllo della Repubblica di Haiti.¹¹

Era dal 1804 che ad Haiti non si vedevano occupanti stranieri. Gli Stati Uniti presero il controllo delle finanze oltre a disporre dell'autorità sulla nomina di esponenti politici; persino le elezioni per il nuovo presidente haitiano furono controllate dagli Stati Uniti. Inoltre la responsabilità della gestione di programmi sulla sanità e su lavori pubblici permise la nascita di nuove infrastrutture e di servizi per il Paese. Circa il 40% delle strade di Haiti sono state realizzate durante l'occupazione americana; vennero costruiti ponti; aumentò l'accesso all'acqua e alla rete elettrica. 12 Nonostante ciò il governo americano e il suo esercito crearono numerosi malcontenti: l'autorità, le discriminazioni razziali e lo spopolamento delle campagne furono causa di nuove rivolte. Le guerriglie dei cacos (contadini armati e mercenari insoddisfatti) vennero soppresse dai marines americani e nell'estate del 1934 l'occupazione terminò. 13 Dopo una serie di governi fallimentari, nel 1957 il dottor François Duvalier (detto "Papa Doc") giunse al potere in seguito alle prime elezioni a suffragio universale tenute ad Haiti. Questa data segna l'inizio di un periodo di terrore e dittatura. Per molti anni Haiti fu sotto il controllo dei Duvalier: infatti dopo il governo di Papa Doc, corrotto e violento, che si autoproclamò presidente a vita, il potere passò nelle mani del figlio Jean-Claude Duvalier ("Baby Doc") che, come il padre divenne presidente a vita instaurando un regime corrotto almeno quanto il precedente. Durante il solo mandato di Papa Doc (1957-1971) circa 30000 furono gli haitiani uccisi per ragioni politiche (il 28% delle morti totali nel Paese) a causa del nuovo esercito presidenziale che assunse una maggiore autorità persino della Guardia Nazionale.¹⁴ Altri abitanti furono costretti ad abbandonare il Paese a causa delle persecuzioni inflitte dal nuovo dittatore: il numero di Haitiani espatriati negli Stati Uniti è notevolmente aumentato durante il regime Duvalier, tanto che Haiti conta ancora oggi il maggior numero di migranti di tutti i Caraibi. 15 La dittatura terminò nel 1986 quando Jean-Claude Duvalier venne deposto. Nel 1991 l'elezione del presidente Jean-Bertrand Aristide sembrava poter dare inizio a un periodo di calma politica, ma un colpo di stato mise fine al suo governo e per circa tre anni il Paese fu sotto il controllo di una giunta militare, probabilmente gestita dal governo americano. Quando l'esercito venne sciolto, Aristide tornò leader della Repubblica di Haiti. Nel 1996 gli succedette René Preval, primo presidente a terminare il mandato senza interruzioni. Nel 2000 governò Aristide per un secondo mandato fin quando non venne accusato di aver manomesso un'elezione al senato: delle forze armate costrinsero Aristide e i membri del governo ad abbandonare il Paese.

Divenne presidente Boniface Alexandre, seguito dal ritorno di Preval e poi di Michel Martelly. L'attuale presidente della Repubblica semipresidenziale è Jovenel Moïse.

Note:

¹ Allende, I. L'isola sotto il mare. Feltrinelli. Novembre 2009.

² Schimmer, R. *Hispaniola*. "Genocide Studies Program." Yale University. 2010.

³ James, C.L.R. *The Black Jacobins*. New York: Vintage Books. 1963.

⁴ Haggerty, R.A. Colonial Society. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ Bell, M.S. Toussaint L'Overture: A Biography. New York: Pantheon, 2007.

⁸ Haggerty, R.A. *Decades of Instability, 1843-1915. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress.* 1989.

⁹ Eui-Sung Yi, Mayne, Thom. *Haiti Now*. The Now Institute. 2014. ¹⁰ Ibid.

¹¹ Haggerty, R.A. Decades of Instability, 1843-1915. Haiti: op. cit.

¹² Haggerty, R.A. The United States Occupation, 1915-34. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

¹³ Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ C. Green J., Schoening A., Vaughn M. Duvalier Regime and immigrant health in the United States. "Annals of health." 2018.

TIMELINE

1492

Cristoforo Colombo scopre l'isola di Hispaniola. Futura colonia spagnola per più di due secoli La Spagna cede la sua colonia e Haiti diventa ufficialmente di proprietà della Francia

1790

1697

Gli schiavi e la gens de couleur iniziano a ribellarsi per ottenere maggiori diritti

1915

In relazione alla difficile situazione politica, gli Stati Uniti cercano di stabilizzare il governo e le finanze Gli Stati Uniti ritirano il proprio esercito lasciando sprofondare nuovamente il Paese nel caos

1934

1957

Inizia un periodo di terrore e dittatura che metterà in ginocchio l'intera Nazione

Fig. 1.2. Papa doc (a destra) e Baby doc (a sinistra).



Viene catturato ed ucciso il leader delle rivolte. Il popolo si prepara alla guerra

1804

La morte di Dessalines porta ad una guerra civile. Al termine nasce la Repubblica di Haiti

_

1802

In seguito alla Battaglia di Vertiéres l'esercito francese viene sconfitto. Haiti dichiara l'indipendenza

1821

Dopo il governo di Baby Doc, Haiti riesce a liberarsi dalla morsa della dittatura

2010

Haiti vive di aiuti umanitari ed è oggi uno degli Stati più poveri al mondo.

•

1986

Morte e distruzione lasciate dal sisma, oltre all'instabilità politica ed economica, devastano Haiti

2019









1.2 L'AMBIENTE/ENVIRONMENT

"Dèyè mòn, gen mòn" "Dietro le montagne, altre montange"

Così recita un antico proverbio creolo. D'altronde il nome Haiti deriva da "Ayti" che significa "montagne". Un nome che rimanda ad un terreno ostile, poco praticabile, poco accessibile. La Repubblica di Haiti si compone di suddivisioni territoriali di primo e secondo livello, rispettivamente denominati départements e arrondissements. I 10 dipartimenti sono i sequenti, da nord a sud: Nord Ovest, Nord, Nord est, Artibonite, Centro, Grand'Anse, Nippes, Ovest, Sud Est, Sud. Il totale degli arrondissements è di 81. Haiti è situata sull'isola di Hispaniola, nella regione insulare delle Grandi Antille, nel Mar dei Caraibi. La sua superficie territoriale è di 27750 km², contro i 48730 km² della Repubblica Dominicana che occupa la porzione orientale dell'isola, e include le isole di Tortuga, La Gonave, Les Cayemites e La Vache.1 La conformazione del territorio è molto varia anche se per circa il 63% occupata da rilievi: i maggiori si trovano nella penisola sudoccidentale dove svettano il Morne la Selle, la cima più alta (2674 m), e il massiccio de la Hotte (2347 m). La penisola nordoccidentale invece ospita rilievi moderati che fronteggiano l'isola di Tortuga, nota in età coloniale come principale approdo per le navi corsare. Nella zona centrale dell'isola spicca il bacino dell'Artibonite, mentre più a sud si trova l'ampia depressione d'origine tettonica, denominata Cul-de-Sac.²

In generale l'eccessiva presenza di rilievi può essere causa di complicazioni: un'inclinazione del terreno superiore al 10% secondo la FAO sarebbe infatti a rischio erosione. Come già detto il 63% dell'isola è montuosa e presenta un'inclinazione del 20% o superiore, pertanto la maggior parte del Paese si trova a rischio.³ La morfologia del terreno inoltre penalizza il settore dei trasporti e dell'agricoltura: è particolarmente difficile infatti sfruttare il territorio haitiano per spostamenti su strada e per coltivazioni, con i mezzi che ci sono a disposizione. Il frazionamento del territorio

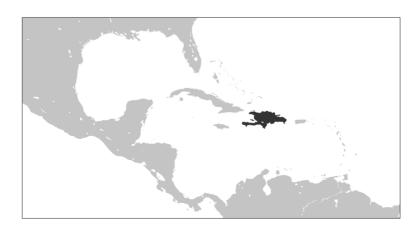


Fig. 1.4. Inquadramento territoriale.

montuoso è anche responsabile della poca presenza di corsi d'acqua, che occupano solo lo 0,7% della superficie territoriale.

La foresta che una volta rappresentava quasi la totalità della superficie sta scomparendo: dal 90% di zone boschive, in periodo precoloniale, esse rappresentano oggi il 2%.⁴ Haiti ha inoltre la minor percentuale di aree boschive protette di tutti i Caraibi, 0,3% contro il 21,7% dei vicini Dominicani.⁵

Questi dati fanno riferimento al fenomeno della deforestazione. Iniziata in epoca coloniale per fare spazio alle piantagioni, oggi continua per incrementare la produzione di energia: la maggior parte dell'energia prodotta ad Haiti in ogni settore deriva dalla combustione di carbone proveniente dagli alberi: servono 5 kg di legno per produrre 1 kg di carbone. La deforestazione favorisce

l'erosione del suolo, le frane e le valanghe. Inoltre le abbondanti piogge e le frequenti alluvioni sottraggono all'agricoltura migliaia di ettari di terra coltivabile ogni anno.

Le piogge, concentrate nelle stagioni primaverili e autunnali, rappresentano infatti un serio problema per l'intero settore agricolo. Quest'ultimo, così come in passato, è la principale fonte di sussistenza per la maggior parte degli abitanti, agevolati dalle temperature tropicali che oscillano dai 23 °C fino ad oltre 35 °C nei mesi di luglio e agosto, nelle aree più calde del bacino dell'Artibonite e della depressione di Cul-de-Sac.

Se si confrontano però i dati relativi ai primi anni '50, si nota una regressione dell'agricoltura haitiana che in passato coinvolgeva più dell'80% degli abitanti contro un 66% attuale, un dato ad ogni modo particolarmente elevato.⁶ Un'altra

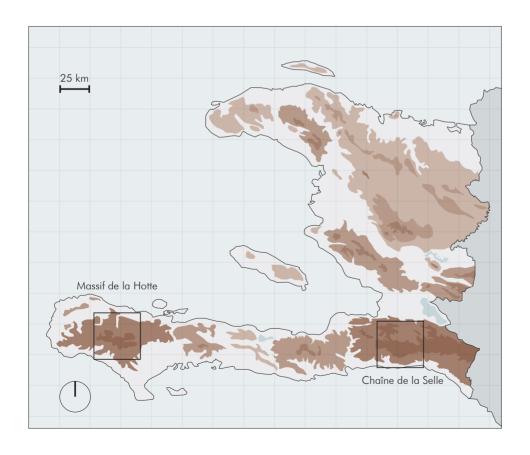
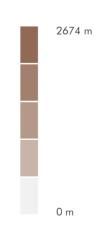


Fig. 1.5. Sviluppo altimetrico.



vittima della deforestazione è stata la fauna locale: il 15% delle specie animali, che si trova oggi a rischio estinzione, sono endemiche.

L'impressione generale è che gli abitanti non sfruttino a dovere le risorse a disposizione. Lo sviluppo lineare costiero, rapportato allo superficie totale del Paese, è uno dei maggiori al mondo (oltre 1771 km, solo Danimarca, Grecia, Croazia, Estonia, Norvegia e Giappone hanno un indice di sviluppo costiero superiore) ma ciò non rappresenta ad oggi una risorsa reale per Haiti.⁷ Il turismo e la pesca infatti non sono all'altezza di quello che il territorio offre.

Haiti è un Paese vulnerabile, avrebbe a disposizione molte risorse che però risultano spesso inaccessibili, le poche a cui si ha accesso non bastano. La fragilità di Haiti è inoltre dovuta a una serie di disastri naturali (uragani, alluvioni e terremoti) che colpiscono periodicamente, azzerando ogni tentativo di progresso. L'isola giace lungo la placca tettonica Caraibica e Nordamericana e pertanto è soggetta a terremoti e tsunami; i cicloni e gli uragani provengono invece dall'Oceano Atlantico: si formano nei pressi delle Piccole Antille o nei pressi della costa africana, per poi arrivare alla zona equatoriale americana, causando piogge di enorme portata e inondazioni.

Oggi quasi l'intera popolazione vive in zone ad elevatorischio di disastri ambientali, posizionandosi al quinto posto come Paese col maggior tasso di mortalità, alle spalle di Bangladesh, Nepal, Repubblica Dominicana e Burundi, secondo il report "Countries at relatively high mortality risk from multiple hazards" pubblicato dal GFDRR (Global Facility for Disaster: Reduction and

Fig. 1.6. Densità di aree verdi.





Recovery) e dalla World Bank's Natural Disaster Study. L'elevato tasso di mortalità è inoltre dovuto al fatto che Haiti è oggettivamente un Paese poco attrezzato, dove un eventuale impatto sismico causerebbe molti più danni rispetto ad un Paese più all'avanguardia. Tra povertà e vulnerabilità di certo c'è un legame e non è un caso che il confronto con la più benestante Repubblica Dominicana risulta a sfavore di Haiti. Nonostante infatti la Repubblica Dominicana abbia un tasso di mortalità superiore, l'uragano Hanna che nel 2008 ha colpito i Caraibi, ha provocato più di 600 morti ad Haiti, solamente 16 in Dominicana. Per fare un confronto ancora più evidente, poco dopo il terremoto del 2010 di magnitudo 7.0 nella zona di Port-au-Prince, si è verificato un terremoto in Cile di magnitudo 8.8 (il sesto terremoto più forte del XX secolo). Il conteggio delle vittime del terremoto di Port-au-Prince ammonta a circa 250 mila, con un totale di persone coinvolte che supera i 3 milioni e mezzo secondo l'ONU. Il governo cileno riporta 525 morti.8

In un contesto simile, è complicato innescare un processo di recupero concreto. L'inadeguatezza politica del governo non è stata in grado di compensare la vulnerabilità del Paese. Il mancato sostegno per la riduzione del rischio ha drasticamente indebolito il tasso di sviluppo e di crescita, azzerando gli sforzi complessivi di riduzione della povertà. 9 Nel 2010 una valutazione di rischio multiplo (NATHAT) ha identificato l'intensità spaziale, temporale e relativa dei maggiori disastri ambientali ad Haiti. In questo modo sarà possibile contribuire a guidare gli sforzi per il recupero e la gestione integrata dei rischi, aiutare il processo decisionale politico per gli investimenti nello sviluppo e contribuire alla protezione territoriale in relazione alle situazioni di emergenza e disastri. 10

Note:

¹ Encyclopedia of the Nations. "Haiti." www.nationsencyclopedia.

² Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.

³ Ihid

⁴Haggerty, R.A. Forestry. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

⁵ Terrestrial Protected Ares (% of total land area). www.worldbank.

⁶ Haggerty, R.A. *Agriculture*. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

⁷ Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.

⁸ Disaster Risk Management in Latin America and the Caribbean Region: GFDRR Country Notes. Report Number 64260, 2012.
⁹ Ibid.

¹⁰ Government of Haiti. "Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti: NATHAT." 26 marzo 2010.







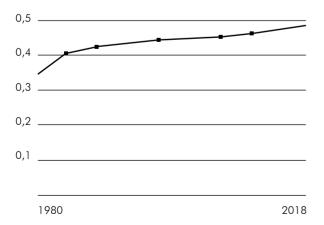
1.3 L'ECONOMIA/ECONOMY

I limiti dello sviluppo economico, dovuti alla combinazioni di diversi fattori, hanno portato Haiti ad essere oggi il Paese più povero delle Americhe, dell'emisfero settentrionale ed uno dei Paesi più poveri al mondo.

L'HDI (Human Development Index), che determina la qualità della vita nei Paesi membri dell'ONU, è di 0.493, al 163° posto su 187 Paesi, secondo l'UNPD. Esso integra tre dimensioni fondamentali dello sviluppo umano: l'aspettativa di vita alla nascita, il livello di istruzione misurato in base agli anni medi di scolarizzazione e il reddito nazionale lordo pro capite che riflette la capacità di raggiungere un tenore di vita decente.

Il GDP (Gross Domestic Product) è tra i più bassi al mondo: 9,717 miliardi di dollari, ovvero al 142° posto su 190 Paesi, secondo l'International Monetary Fund. La vicina Repubblica Dominicana ha un reddito medio pro capite di oltre 80 miliardi di dollari e la povertà interessa solo una piccola percentuale della popolazione, mentre ad Haiti

Fig. 1.7. Haiti - Indice di Sviluppo Umano.

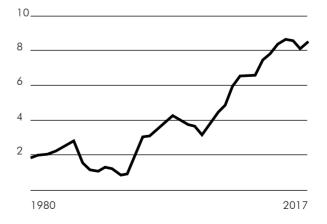


l'80% della popolazione vive in condizioni di povertà.

Isettori economici principali includono l'agricoltura L'allevamento, il settore manifatturiero, l'edilizia e i servizi. L'agricoltura e l'allevamento sono le attività più praticate dagli abitanti. Sono particolarmente attive le piccole industrie tessili, che esportano prevalentemente negli Stati Uniti, la piccola ristorazione e il turismo. Quest'ultimo però non sfrutta a dovere le bellezze paesaggistiche che il territorio offre: la natura e le spiagge caraibiche non risultano infatti essere valorizzate. Nessuna iniziativa è stata proposta per l'incremento del settore relativo alla pesca. Circa il 75% del pesce consumato ad Haiti è importato.¹

La mobilità è frammentaria e incostante: i due enti principali, le Fonds d'Entretien Routier (FER) e le Centre National de l'Equipement, sembrano non essere in grado di supportare la mobilità ad Haiti.² Le zone rurali dell'isola sono mal collegate e i mezzi pubblici collegano solamente le città

Fig. 1.8. Haiti - Gross Domestic Product. U.S. Dollars (Billions)



principali. In generale 3 persone su 4 ad Haiti si muovono a piedi, il 4,6% della popolazione utilizza le macchine, mentre i mezzi più usati sono le biciclette (8,6%), le moto (7,8%) e i cosiddetti Tap Tap: bus molto informali, vecchi e rimaneggiati, poco sicuri e affidabili.³ Il problema della mobilità riguarda anche porti e aeroporti haitiani: secondo SEMANAH, il servizio che gestisce tutte le attività navali del Paese, ci sono circa 120 porti nell'isola, ma solamente due sono porti di livello internazionale (Port-Au-Prince e Cap Haitien), 11 sono i porti minori, il resto sono considerabili come semplici ancoraggi per barche di piccole dimensioni. Un discorso simile può essere fatto per gli aeroporti, in particolare per quello della capitale che occupa circa il 90% del traffico aereo.4

La rete elettrica presenta problemi legati principalmente alla produzione e distribuzione dell'energia, in secondo luogo alla mancanza di manutenzione, riabilitazione ed espansione della rete esistente. Le zone più svantaggiate sono quelle rurali dove solo il 5% ha accesso alla rete. Il 13% della popolazione totale ha un accesso regolare e continuo, mentre circa il 17%

Fig. 1.9. Haiti - Gross Domestic Product diviso per settori (2012).

Sector	US\$ (Billions)	% of GDP
Services (resturant, hotel, other)	3,4	43,9
Agriculture, forestry, livestock, fishery	1,8	22,6
Construction, public works	0,7	9,3
Transport, communications	0,6	7,5
Manufacturing	0,6	8,0
Electricity, water	0,1	0,7
Mining resources	0,0	0,1
Other	0,0	7,8
Total GDP 2012	7,8	100

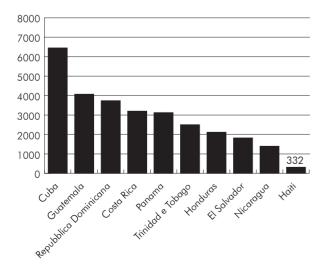
usufruisce della corrente elettrica illegalmente e non durante l'intero arco della giornata.⁵ Il consumo di energia, con una capacità totale stimata di circa 332 MW (con perdite di energia che vanno dal 46 % al 54%), fa di Haiti una delle nazioni con il più insufficiente sistema elettrico. La figura 1.10 mostra la capacità elettrica installata ad Haiti, rispetto ai Paesi dell'America Centrale e dei Caraibi. Sono stati esclusi dal conteggio le Nazioni del Commonwealth (8 reami appartenenti al Regno Unito, come la Giamaica) e gli Stati dipendenti dagli Stati Uniti, come il Porto Rico. La produzione di energia deriva principalmente

dalla combustione di petrolio importato, da centrali termiche e idroelettriche. Per aumentare la produzione di energia il governo ha messo a disposizione il 30% dei fondi annuali. L'intenzione è quella di attuare un piano per aiutare il settore che possa svilupparsi in tre direzioni: commercializzazione, trasporto e distribuzione. È prevista inoltre la produzione di energia da fonti rinnovabili come il solare e l'eolico.6

La questione legata all'accesso all'acqua assume gli stessi caratteri dei problemi già affrontati e penalizza nuovamente le aree rurali dell'isola: l'88% dei residenti in città non riscontra alcun tipo di disagio, mentre oltre la metà della popolazione che vive nelle campagne non ha accesso ad acqua potabile causando la proliferazione di malattie e infezioni che già in passato sono state fatali. Nel 2009 è stata fondata la DINEPA (Direction National d'Eau Potable et d'Assainissement) che controlla il sistema di acqua potabile per la riduzione di malattie e infezioni causate dall'acqua.

In generale in ambito igienico-sanitario non ci sono stati notevoli miglioramenti. Una delle principali carenze riguarda l'accesso alla rete fognaria nelle case di campagna. Solo l'1% possiede questo privilegio e il 44% della popolazione totale non possiede un sistema igienico appropriato che comporta dei seri rischi per le persone e l'ambiente. Infine vi è il problema dello smaltimento dei rifiuti. Oggi sono pochissimi i rifiuti che vengono appositamente raccolti e riciclati, il resto non riesce ad essere smaltito, non ci sono centri adatti, e finisce per accumularsi ovunque. Nel 2012, a causo dell'eccessivo accumulo di rifiuti nelle strade, è stato vietato

Fig. 1.10. Capacità elettrica installata in America Centrale e nei Caraibi (KW). 2016.



l'importo di materie plastiche.8

L'assenza di servizi e infrastrutture riduce la possibilità di miglioramenti a breve termine. Nonostante dal 2010 a oggi siano aumentati gli aiuti umanitari e le ONG provenienti da tutto il mondo, i dati appena riportati rimangono critici.

Note:

- ¹ Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.
- ² Ibid.
- 3 Ibid.
- 4 Ibid.
- ⁵ Haggerty, R.A. *Energy."* Haiti: A Country Study". Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.
- ⁶ Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.
- ⁷ Scott F. Dowell, Jordan W. Tappero and Thomas R. Frieden, M.D., M.P.H. Public Health in Haiti. Challenges and Progress. "The new England journal of medicine." 2011.
- ⁸ Morgan, Cara. "Effects of the Waste Problem in Haiti." Giugno 2014. https://borgenproject.org/effects-of-the-waste-problem-in-haiti/





1.4 LA CONDIZIONE SOCIALE/SOCIAL CONDITION

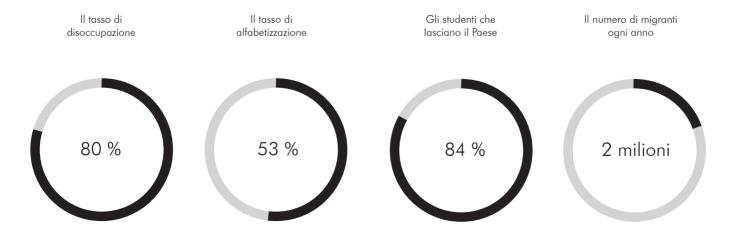
La popolazione haitiana conta oltre 11 milioni di abitanti (2019), praticamente lo stesso numero di Cuba (che possiede una superficie 4 volte più grande). La densità è di circa 400 abitanti per km², la più alta dei Caraibi.¹ L'aumento demografico è stato un continuo crescendo sin dagli anni '60 e sembra un dato destinato ad aumentare.

La maggior parte degli abitanti vive in condizioni di povertà estrema, senza aver accesso a servizi e beni di prima necessità. Il tasso di disoccupazione è uno dei più alti al mondo e sfiora l'80%, così come il tasso di analfabetismo che rimane il più alto dei Caraibi: solo il 10% della popolazione parla correttamente il francese, lingua ufficiale di Haiti; il resto parla esclusivamente creolo haitiano.² La conoscenza dell'inglese e dello spagnolo invece cresce per l'influenza di Stati Uniti, Repubblica Dominicana e Cuba.

Il sistema educativo non è alla portata di tutti e le debolezze finanziarie impediscono al governo di investire fondi sull'educazione. Pochi sono gli studenti che continuano gli studi dopo aver raggiunto la maggiore età, la maggior parte di essi lascia il Paese per cercare lavoro. L'emigrazione era già un fenomeno conosciuto ad Haiti: in periodo coloniale la gente tentava di rifugiarsi negli Stati Uniti; con l'occupazione americana le alternative diventavano le più vicine isole Caraibiche; poi il regime dei Duvalier ha costretto migliaia di persone ad espatriare per ragioni politiche; oggi la Francia e il Canada, sembrano essere tra le mete più ambite da chi cerca la fortuna altrove. Il principale motivo per cui la gente fugge da Haiti è la ricerca di una condizione socio-economica più favorevole.

Più di due milioni di Haitiani vive all'estero, e molti altri continuano ad incrementare il fenomeno della diaspora: i giovani soprattutto con l'obiettivo di un futuro migliore, lontano dalle pressioni politiche, economiche e culturali del Paese. La diseguaglianza economica è dovuta ad un'eccessiva frammentazione della classe sociale nata durante la schiavitù e il colonialismo. Questa disparità economica è una delle cause dello spopolamento delle campagne. Si crea pertanto un sovraffollamento dei centri urbani, Port-au-Prince in particolare, e la crescita di bidonville.

I servizi che offre la città non sono sufficienti a



soddisfare i bisogni di tutti e le condizioni di scarso igiene delle bidonville sono causa di indicatori critici: l'aspettativa di vita nel Paese è di 63,5 anni (al 146° posto su 183 Paesi, secondo l'OMS) la mortalità infantile è di 52/1000 bambini al di sotto di un anno; il tasso di mortalità materna è di 523 donne ogni 100000.3 La malnutrizione, l'accesso all'acqua e alle medicine sono questioni affrontate quotidianamente ma che continuano a causare malattie e morti ogni giorno. Nel 2010 un'epidemia di colera prese piede ad Haiti, contagiando oltre 150000 persone e uccidendone oltre 3000. Dal 2010 ad oggi sono stati registrati più di 700 mila casi e un numero di morti che sfiora i 10 mila. La religione più praticata è il Cristianesimo.

Più del 50% degli haitiani pratica il vudù (vodou): si dice che il 70% degli haitiani sia cattolico, il 30% protestante, il 100% vudù.⁴

Note:

- ¹ Haiti population (live). www.worldmeters.info
- ² Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.
- ³ State of The World's Children 2016 Country Statistical Information. UNICEF.
- ⁴ Sharon Guynup. *Haiti: Possessed by Voodoo.* "National Geographic." Luglio 2004.

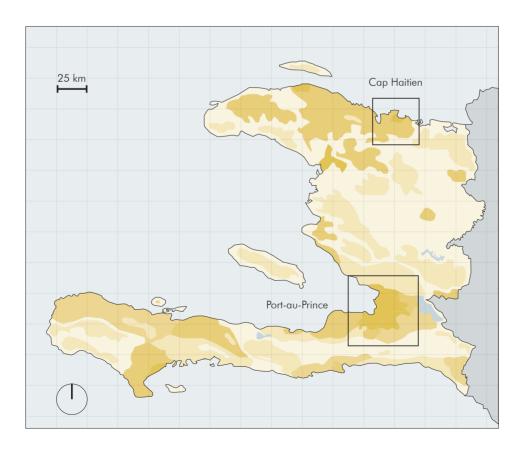


Fig. 1.11. Densità di popolazione.

0 - 100 ab/m²>

CAPITOLO 2

L'ARCHITETTURA HAITIANA HAITIAN ARCHITECTURE





2.1 L'EVOLUZIONE DELL'ARCHITETTURA HAITIANA/THE EVOLUTION OF HAITIAN ARCHITECTURE

In epoca precoloniale, le comunità indigene di Hispaniola, i Taino e gli Arawak, basavano la loro economia sull'agricoltura. Essi formavano società gerarchiche ben organizzate: ogni comunità aveva il suo capo, chiamato cacique, al di sotto del quale vi erano i sub-caciques, con posizioni sociali migliori rispetto agli indigeni di basso rango. Tale distinzione sociale sta alla base dell'esistenza di due principali tipologie di abitazione: una tipologia costruttiva più semplice con struttura in legno e copertura in paglia o foglie di palma intrecciate; un'altra per i caciques e loro numerose famiglie (potevano anche avere 30 mogli) di forma rettangolare con un portico all'ingresso, ma con gli stessi materiali delle altre abitazioni. Entrambe le tipologie costruttive si sviluppavano attorno a una corte utilizzata per funzioni religiose e feste.² In seguito alla scoperta dell'isola di Hispaniola, i colonizzatori spagnoli, e francesi in seguito, sterminarono quasi tutta la popolazione nativa: i villaggi vennero distrutti e solo pochi riuscirono a salvarsi rifugiandosi sulle montagne. L'isola si popolò di invasori europei e schiavi provenienti principalmente dall'Africa. In pochi anni Hispaniola si trasformò in maniera radicale e cambiarono anche le tecniche costruttive.

L'arrivo degli schiavi nel 1507 introdusse per la prima volta una nuova tecnica chiamata wattle and daub, che in alcune zone dell'isola è tutt'oggi praticata. Si tratta di abitazioni formate da un reticolo di strisce in legno (wattle) intonacato con un misto di terra, argilla, sabbia, sterco e paglia.³ Oggi è possibile riconoscere questa tecnica costruttiva nelle zone montane e nelle aree più povere dell'isola.

L'aumento della produzione agricola e l'incremento demografico portarono alla costruzione di nuove piantagioni. Queste furono il principale modello delle cosiddette gingerbread, abitazioni costruite in epoca coloniale, ma che divennero maggiormente popolari tra il 1880 e il 1920, anno dell'incendio che distrusse parte degli edifici di Port-au-Prince.



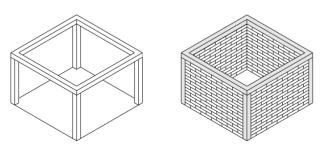




Le gingerbread sono parte del patrimonio architettonico di Haiti e alcune di esse sono ancora intatte. Sono abitazioni appartenenti all'élite haitiana dell'epoca e si trovano nell'area metropolitana di Port-au-Prince, di Cap Haitien e Jacmel. Lo stile architettonico ricorda edifici di epoca Vittoriana, molto presenti negli Stati Uniti, ma sono anche visibili influenze europee.⁴

Dal 1925 ad oggi l'architettura haitiana si è evoluta. Durante l'occupazione degli Stati Uniti (1915-34) sono state realizzate nuove infrastrutture e anche le abitazioni hanno subito una radicale trasformazione. Oggi l'architettura di Haiti ha come materiale principe il calcestruzzo: la maggior parte delle abitazioni viene realizzata con una struttura in calcestruzzo armato e tamponamenti in blocchi di calcestruzzo. Si tratta in assoluto del materiale preferito e più utilizzato per le case; l'unico materiale in grado di trasmettere un senso di solidità e sicurezza nonostante spesso venga impiegato in maniera inadeguata. L'edificio tipo ad Haiti è di un piano fuori terra; solo in alcuni casi, prevalentemente in città, esistono abitazioni multipiano. La tecnica costruttiva più utilizzata è la cosiddetta infill masonry che prevede la realizzazione dello scheletro in calcestruzzo armato e successivamente della tamponatura

Fig. 2.2. Infill masonry: maggior numero di casseforme necessarie.

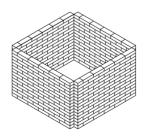


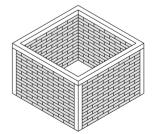
in blocchi. Tra le parti strutturali e i muri non c'è alcuna connessione, da cui deriva la scarsa resistenza dell'edificio.⁵ A volte viene utilizzata la confined masonry che inverte le due lavorazioni: vengono realizzati prima i muri perimetrali e in seguito aggiunti i pilastri e le travi. Questo secondo metodo necessita di una minore quantità di casseforme e solitamente si ottiene un maggiore rigidezza della struttura.⁶

Spesso il lavoro viene lasciato incompiuto in vista di un futuro ampliamento della casa per l'aggiunta di un'unità abitativa indipendente o con l'ampliamento dell'abitazione esistente.⁷

La reperibilità dei materiali, ad eccezione del cemento, rappresenta un grande ostacolo: la maggior parte dei materiali è importata e spesso il costo va oltre le possibilità economiche degli abitanti. Le soluzioni tecnologiche si adattano alle risorse economiche dei proprietari: nell'abitazione tipo, per esempio, la copertura è costituita da un foglio di lamiera metallica su una struttura lignea; i serramenti sono spesso assenti o costituiti da semplici schermature; le fondazioni sono realizzate in maniera poco accurata, come il resto della struttura.

Fig. 2.3. Confined masonry: minor numero di casseforme necessarie; maggiore rigidità.





L'instabilità politica ed economica di Haiti non ha permesso al settore delle costruzioni di fare dei passi in avanti e le piccole e medio imprese, della filiera non controllata, sono aumentate dal 1990 a oggi e rappresentano oltre il 50% dell'economia haitiana e circa l'80% del settore informale.⁸

La filiera non controllata è cresciuta insieme al numero degli abitanti e al tasso di urbanizzazione, accelerando la nascita di costruzioni in maniera disordinata e senza supervisione. L'insieme di questi fattori rappresenta un ostacolo per l'accesso al mercato formale: la filiera produttiva non controllata delle piccole imprese non consente infatti lo sviluppo del settore che produce materiali di buona qualità. Pertanto il segmento di mercato che vuole essere competitivo fornendo standard di qualità viene limitato. Si viene a creare un circolo vizioso dovuto prevalentemente:

- alla mancanza di conoscenze;
- alla mancanza di competenze;
- ad un'assenza di controlli sulla qualità;

- ad un accesso al credito ristretto:
- all'assenza di provvedimenti legali.

Nell'area di Port-au-Prince si concentrano la maggior parte delle piccole imprese non controllate che si occupano della realizzazione di blocchi in calcestruzzo, della vendita di materiali da costruzione, e della costruzione di abitazioni. Uno degli aspetti che caratterizzano le aree urbane, in contrapposizione allo spopolamento delle campagne, riquarda la densità costruttiva e abitativa. Il sovraffollamento di Port-au-Prince. che oggi presenta una densità di 20 mila abitanti per km², è iniziato tra gli anni '50 e '70 quando il numero degli abitanti della capitale è pressoché raddoppiato. Dagli anni '70 alla caduta del regime dei Duvalier è quasi triplicato. Oggi a causa della migrazione dalle aree più povere si assiste ad una continua crescita demografica e di conseguenza a un aumento della richiesta di

Gli abitanti si riversano nella capitale attratti

nuove costruzioni.

Fig. 2.4. Mappa di Port-au-Prince.



dalla maggiore presenza di infrastrutture e servizi, dalla maggiore possibilità di impiego e da livelli di povertà inferiori. 10 In sintesi la disuguaglianza economica tra le città e le campagne haitiane ha portato a un'iperdensità urbana e a una frammentazione delle aree rurali. In queste ultime vige il lakou, ovvero la suddivisione della terra tra i membri della famiglia. Tale processo va avanti di generazione in generazione e porta a una diminuzione della terra coltivabile e in seguito all'abbandono della terra stessa per mancanza di fonti di sostentamento. 11

Per gran parte degli haitiani, la migrazione diventa un meccanismo di difesa, per sfuggire alla povertà e andare alla ricerca di nuove opportunità. Purtroppo la capitale, che ospita ogni anno più di 75000 migranti, spesso costringe gli abitanti a vivere in baraccopoli, in condizioni di sicurezza minime e in situazioni di confort e igiene quasi inesistenti.

Fig. 2.5. Densità edilizia a Pacot, Port-au-Prince.



Note:

- ¹ Corbett, Bob. "The History of Haiti: Pre-Columbian Hispaniola
- Arawak/Taino Indians." 1995. http://www.hartford-hwp.com/archives/43a/index-aa.html
- ² Ibid.
- ³ Mayne, Eui-Sung Yi, op. cit.
- ⁴ World's Monument Fund. "Preserving Haiti's Gingerbread Houses." 2010 Earthquake Mision Report. FOKAL. Dicembre 2010.
- ⁵ Mayne, Eui-Sung Yi, op.cit.
- 6 Ibid
- ⁷ Bernard, Nina. Les producteurs de blocs de la zone métropolitaine de Port-au-Prince. Build Change. Aprile 2016.
- 8 Ibid.
- ⁹ Ibid.
- World Bank. "Social resilience and state fragility. A Country social analysis." Report no. 36069 HT. Aprile 2006.
- 11 Ibid.



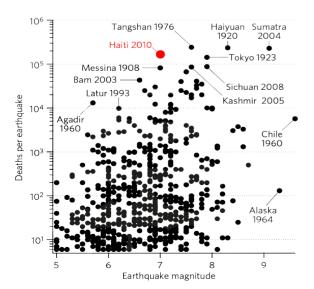


2.2 IL CALCESTRUZZO AD HAITI/CONCRETE IN HAITI

Il passaggio dalle costruzioni in legno, quelle in stile coloniale ed eclettiche, con la loro mescolanza di modelli costruttivi, americani ed europei prevalentemente, alle costruzioni in calcestruzzo fu molto breve. L'incendio del 1920, che distrusse la maggior parte degli edifici di Portau-Prince, portò infatti qualche anno più tardi, nel 1925, all'entrata in vigore di un'ordinanza che bandì l'utilizzo di strutture in legno all'interno della città.¹

Il calcestruzzo aveva già raggiunto qualche anno prima la Repubblica di Haiti, durante l'occupazione americana (1915-34), ma il suo impiego cresceva lentamente e fu necessario un provvedimento di tale portata a permetterne lo sviluppo: dal 1925 ad oggi l'utilizzo di calcestruzzo continua crescere e ogni nuova costruzione presenta quasi sempre le stesse modalità di

Fig. 2.6. Numero di morti a causa di terremoti dal 1900 ad oggi.



realizzazione. Oggi circa il 66,3% degli edifici di Port-au-Prince è rappresentato da abitazioni a uno o al massimo due piani fuori terra, in calcestruzzo. In generale circa il 60% degli edifici di Haiti è realizzato in blocchi di calcestruzzo con struttura in calcestruzzo armato.² Purtroppo la gran parte di questi edifici non è realizzata secondo le norme. Molti degli edifici residenziali sono costruiti dagli stessi proprietari, che non hanno le competenze per farlo; in molti casi vengono utilizzati materiali di scarsa qualità, in maniera errata e in assenza di un adequato progetto.³ Gli edifici risultano inadatti alle caratteristiche climatiche e ambientali di Haiti. Qui infatti sono ricorrenti gli uragani e le alluvioni, nonché i terremoti: essendo l'isola di Hispaniola al confine tra la placca tettonica caraibica e quella nordamericana, la porzione orientale, Haiti per l'appunto, si trova su una faglia in grado di generare terremoti di magnitudo 7.0 o superiori.⁴

Altri terremoti hanno colpito in passato la Repubblica di Haiti, nel 1751, nel 1770 e nel 1860, prima dell'arrivo del più devastante terremoto del 2010. Si tratta di terremoti che colpiscono con scarsa frequenza e per questo motivo il governo e i cittadini hanno quasi ignorato il problema, consapevoli o meno dell'inadeguatezza delle strutture, lasciando totalmente impreparato il Paese.⁵ Nel 2010 sono stati registrati circa 250 mila morti, 300 mila feriti, più di un milione e mezzo di sfollati e centinaia di migliaia di edifici rasi al suolo. Un conteggio circa due volte superiore alla maggior parte dei terremoti di magnitudo 7.0 che si sono verificati dal 1900 a oggi (Fig. 2.6).⁶

(ASTM) ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM 2010a).

Grazie ad alcuni membri del Earthquake Engineering Research Institute's (EERI), è stato

Fig. 2.7. Provino prima del test (a) e dopo il test (b).



possibile prelevare dei campioni di calcestruzzo provenienti da Port-au-Prince in seguito al terremoto del 2010. Justin Marshall (Auburn University) e Steve Baldridge (Baldridge & Associates, Honolulu, Hawaii) hanno esaminato tali campioni constatando una resistenza a compressione media di 11,3 MPa, contro un resistenza a compressione minima negli Stati Uniti di 13,1 MPa. È da precisare che i blocchi in calcestruzzo esaminati provengono da edifici con materiali di ottima qualità per gli standard di Haiti. Uno dei test è stato effettuato su un campione di calcestruzzo prelevato dalle fondazioni di un edificio di un piano fuori terra nei pressi dell'Ambasciata degli Stati Uniti, nel comune di Tabarre. Il calcestruzzo è stato realizzato da un muratore locale senza alcuna supervisione. Il campione cilindrico è stato portato negli Stati Uniti per essere testato: i risultati mostrano un picco di resistenza a compressione pari a 8,7 MPa, nettamente inferiore agli standard. La rottura si presenta in forma conica e a frattura divisa, come definito da ASTM C39 (Fig. 2.7). Un



test effettuato su un campione, anche in questo caso proveniente da una fondazione, ha mostrato un picco di resistenza a compressione di 2,8 MPa. Per le fondazioni, in zone sismiche, La resistenza minima negli USA è di 20,7 MPa.

In seguito agli avvenimenti del 2010 c'è stata una prima presa di coscienza da parte del governo haitiano che nel 2012 ha pubblicato la prima versione del Code National du Batiment d'Haïti (CNBH), redatto dal Ministero dei Lavori Pubblici, dei Trasporti e delle Comunicazioni, all'interno del quale si trovano le raccomandazioni, le indicazioni e gli standard da rispettare in fase di costruzione. Nello stesso anno è stato redatto il Plan Stratégique de Développement d'Haïti, volto a risollevare le sorti del Paese entro il 2030. La presenza di tali documenti non ha tuttavia impedito agli abitanti di continuare a costruire esattamente come hanno sempre fatto.

Fig. 2.8. Crollo totale di un edificio di campagna.

"All'indomani del terribile terremoto del 12 gennaio 2010, il Paese si è dotato di una visione a lungo termine per lo sviluppo che mira a rendere Haiti un paese emergente entro il 2030.

Per concretizzare questa visione, realizzare obiettivi profondi richiesti dalla nostra situazione e per guidare, accelerare e coordinare al meglio il nostro processo di sviluppo, è stato realizzato un piano di sviluppo strategico per Haiti che riguarda tutti i settori di intervento."

Michel Joseph Martelly



A conferma di ciò, durante la permanenza ad Haiti, un terremoto ha colpito il Paese. Si tratta della scossa più forte dal 12 gennaio 2010. I danni sono stati numerosi e hanno messo nuovamente in evidenza la totale noncuranza in fase di progettazione e costruzione degli edifici e la loro pericolosità. Di seguito viene riportata l'esperienza del viaggio a Port-de-Paix, città del dipartimento del Nord Ovest.

Il sopralluogo ha avuto luogo il giorno seguente all'ultima scossa registrata (8 ottobre 2018) e ha permesso di verificare l'entità dei danni subiti dagli edifici: a volte superficiali, in altri casi seri danneggiamenti che hanno portato alla totale compromissione dell'edificio o all'intero crollo della struttura.

Durante la sera di sabato 6 ottobre 2018, tra le 20:11 e le 20:17 (UTC -5), si è verificato un terremoto di magnitudo 5.9, seguito da altre due scosse di assestamento, nel giorno seguente. L'epicentro del primo terremoto è stato registrato in mare, a circa 20 Km da Port-de-Paix e a 11 Km di profondità. Il conto iniziale delle vittime è stato di 11 morti accertati e di centinaia di feriti; nelle ore a seguire il numero di morti è salito a 17. Le città più colpite sono state Port-de-Paix e Gros-Morne. I danni riscontrati non sono paragonabili al terremoto del 2010, ma comunque significativi e la presenza diretta mi ha permesso di verificare alcune delle cause principali del fallimento delle strutture. Tramite un'indagine fotografica è stato possibile riconoscere alcuni dei principali degradi (fessurazioni, distacchi, cedimenti, crolli) e soprattutto un differenza sostanziale tra gli edifici colpiti nelle zone di campagna e quelli in città. In generale la maggior parte delle cause di degrado sono legate alla composizione del calcestruzzo. Alcune delle foto scattate mostrano le differenze

Fig. 2.9. Crollo parziale di un edificio di campagna.



dei danni subiti da abitazioni di campagna (Fig. 2.8 e 2.9) e quelli subiti dalle abitazioni e dagli edifici pubblici in città (Fig. 2.10).

Le principali cause della differenza di gravità dei danni subiti nelle due aree sono da ricercare all'interno del calcestruzzo impiegato: il report fotografico mostra come l'utilizzo di aggregati all'interno della miscela sia completamente errato. Si utilizzano infatti rocce di dimensioni estremamente grandi che non favoriscono la coesione del materiale e ne aumentano la fragilità, portando l'intero setto murario, e di conseguenza l'intero edificio, ad una resistenza a rottura notevolmente inferiore a quella necessaria a sopportare i carichi e le oscillazioni orizzontali del terreno.

La pendenza del terreno enfatizza inoltre la difficoltà delle fondazioni ad assorbire i carichi e trasmetterli al suolo. Nelle abitazioni cittadine non si riscontra questo tipo di problema e spesso i lavori vengono effettuati da maestranze locali più preparate o, nel migliore dei casi, da imprese con esperienza.

Le cause di degrado riguardano: un'inadeguata progettazione delle strutture alle condizioni d'esercizio e all'esposizione; errori di confezionamento, trasporto, posa in opera, compattazione e stagionatura del calcestruzzo; posizionamento non corretto delle armature metalliche e mancato rispetto del copriferro minimo; materiali di scarsa qualità; composizione del calcestruzzo non conforme alle specifiche prescritte.

Durante il sopralluogo è emerso un altro fattore riguardante la natura caratteriale degli abitanti: le ore successive al sisma sono state affrontate con esternazioni di panico e una paura contagiosa che hanno causato un aumento del caos in città.

Fig. 2.10. Fessurazione sull'ospedale di Gros-Morne.



Nondimeno si tratta degli stessi abitanti che difendono strenuamente le tecniche costruttive e la loro intenzione di mantenerle inalterate.

Questo continuo perseverare rappresenta oggettivamente uno dei principali rischi per gli abitanti: le conseguenze del sisma al quale ho assistito sono state drammatiche, seppur la forza del terremoto non sia stata eccezionale. Ma emerge da questo fatto l'enorme pericolo che quotidianamente gli abitanti potrebbero dover affrontare poiché residenti in abitazioni assolutamente precarie.

Note:

- ¹ World Monuments Fund. "Preserving Haiti's Gingerbread Houses." December 2010.
- ² Mayne, Eui-Sung Yi, op.cit.
- ³ D. Marshall, Justin. Recipe for Disaster: Construction Methods, Materials, and Building Performance in the January 2010 Haiti Earthquake. "Earthquake Spectra." October 2011, Vol. 27, No. S1.
- ⁴ Ibid.
- ⁵ Ibid.
- ⁶ Bilham, Roger. Lessons from the Hati earthquake. "NATURE." Vol 463. 18 February 2010.
- ⁷ CNBH. République d'Haiti. Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications. Edition Janvier 2013.
- ⁸ Plan Stratégique de Développement d'Haiti. République d'Haiti. Ministère de la Pianification et de la Coopération Externe. 2012.





2.3 LA FILIERA NON CONTROLLATA/THE NON-CONTROLLED SUUPLY CHAIN

Quanto detto finora rappresenta la sintesi di ciò che ad Haiti può essere definita la filiera non controllata del calcestruzzo. Ovvero la produzione di calcestruzzo non conforme alle norme, che mette in pericolo il Paese e gli abitanti. Questa pratica supera di gran lunga il resto della produzione. In generale le costruzioni in calcestruzzo ad Haiti hanno sempre seguito un iter arbitrario che si è saldamente radicato nella cultura locale trasformandosi in pratiche di tipo consuetudinario, senza sottostare a nessuna normativa.

Le cave di rocce calcaree sono abbondantemente

presenti ad Haiti, tuttavia solo una piccola parte viene utilizzata per la produzione di calcestruzzo in maniera legale, la restante parte viene estratta abusivamente o importata. L'estrazione avviene prevalentemente nelle zone montane e nelle zone di Caréange, Paillant, Petit Rivière de Nippes, Ganthier e Port Margot. Altri depositi calcarei si trovano a Laboule, Sanatorium, Fontanamara, Carrefour Dufort, Beloc, Morne Tapion, Fond Doux, Calebassier e Chalon.¹

Oggi la calce è stata quasi interamente sostituita dal cemento, prodotto in piccola parte da aziende locali. La gran parte del cemento viene importato

Fig. 2.11. Granulometria degli inerti all'interno della muratura.



dalla Repubblica Dominicana, che fino al 2015 rappresentava circa un terzo della produzione totale di cemento ad Haiti, vantando la maggiore esportazione di cemento nei Caraibi.² Dal 2015 ad oggi il governo Haitiano ha deciso di limitare l'acquisto di cemento proveniente dalla Repubblica Dominicana, promuovendo la produzione locale.³ Gli aggregati costituiscono circa l'80% del peso totale dell'impasto e svolgono un importante ruolo ai fini del conferimento della resistenza meccanica. Essi derivano principalmente da rocce di vario tipo (in alcuni casi dal processo di riciclaggio di rifiuti di demolizione) successivamente ridotte alle dimensioni volute.⁴

La resistenza deriva dalla qualità degli inerti, dalla loro durezza e dalla loro composizione granulometrica. Questa varia da una dimensione

Fig. 2.12. Miscela a terra con aggiunta di acqua.



di 0,05 mm (filler) ad una dimensione massima di 40 mm (ghiaia/pietrisco). Per ottenere un calcestruzzo a struttura chiusa è necessario un assortimento granulometrico che comprenda le frazioni più fini e quelle più grossolane. In questo modo è possibile ridurre al minimo i vuoti interstiziali, riducendo la richiesta di cemento, garantendo la massima lavorabilità del calcestruzzo e minimizzando la segregazione.⁵

Un calcestruzzo a struttura aperta, privo di aggregati fini, sarà meno denso e maggiormente permeabile: quello che succede nella maggior parte dei cantieri haitiani. Raramente vengono prese in considerazione le condizioni del terreno o le condizioni del contesto ambientale e le possibilità di calamità naturali. In questo modo si creano i presupposti per un annunciato fallimento.

La figura del progettista, che spesso coincide con quella del proprietario, è il cosiddetto boss, mentre gli operai di cantiere, che operano sotto la figura del boss, sono i maçons. Solitamente i lavori procedono senza un'adeguata supervisione da parte del boss e gli impreparati operai tralasciano alcuni degli accorgimenti necessari per una perfetta riuscita dell'impasto.

"Gli aggregati, nell'area di Port-au-Prince, provengono prevalentemente dalla Rivière Grise, il principale corso d'acqua della zona. Qui avviene il prelievo di rocce che si depositano nel fiume. Questa pratica caratterizza l'area del fiume che da circa 30 anni a questa parte ha quasi raddoppiato le dimensioni

Fig. 2.13. Riempimento di un pilastro armato.



a causa del prelievo di materiale. Al di fuori della capitale l'estrazione avviene nelle cave e nelle montagne, mentre nell'area di Cap Haitien, l'estrazione avviene nuovamente nei due principali corsi d'acqua: la Rivière Limbé e la Grande Rivière du Nord la cui gestione è rispettivamente sotto il controllo delle compagnie JNM e Vorb et fils (V&F). In generale queste operazioni di prelievo avvengono mediante il rilascio di un permesso da parte del Bureau des Mines e mediante il pagamento di tasse al comune di pertinenza. Purtroppo non sempre questo avviene alla luce del sole e spesso la legge viene aggirata dalla corruzione che attanaglia l'intero settore

delle costruzioni. Oltre all'estrazione abusiva, la materia prima non viene adeguatamente lavorata e in alcuni casi si utilizzano gli aggregati allo stato naturale: l'utilizzo di aggregati non lavorati riduce del 15-20% le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo. Il motivo per cui queste pratiche vengono ancora preservate riguarda solamente un fattore economico. Anche la vendita di materiale ad Haiti rappresenta un'usanza che si tramanda da generazioni e spesso non sottostà a nessuna legge. I materiali vengono venduti al m³: vengono misurati i camion per il trasporto e, una volta identificato il tipo di camion (esistono per esempio camion da 14,4 m³ o da 12,8 m³), è possibile stimare la quantità di materiale e dunque il prezzo totale."6

La prima fase della lavorazione riguarda la miscelazione delle materie prime. Essa avviene quasi esclusivamente a terra, senza l'utilizzo di betoniere e senza prima aver preparato la superficie. Da ciò deriva un'elevata presenza di impurità nel materiale.

Non viene inoltre praticato il procedimento di miscelazione a secco, a favore di una più comoda miscela con aggiunta di acqua. Una miscela a secco permette al cemento di amalgamarsi meglio agli aggregati favorendo una maggiore compattezza dell'impasto e dunque una maggiore resistenza meccanica. L'aggiunta di acqua andrebbe effettuata solamente in seguito. Il dosaggio dell'acqua rappresenta uno dei passaggi chiave per una corretta riuscita del conglomerato cementizio. Per questo è necessario l'utilizzo di acqua potabile o quanto meno con limitata presenza di impurità. Purtroppo in un

contesto simile spesso non è facile comprendere la provenienza dell'acqua. Quella impiegata spesso facilita la fessurazione e l'ossidazione delle armature.

"Qui in genere usiamo una proporzione di 3 a 1: un sacco di cemento, tre sacchi di aggregati e circa due sacchi di sabbia. Questa è una buona proporzione. Cosa succede quando si svolgono lavori manuali? Dopo un'ora di lavoro il ragazzo è stanco e, ciò che inizialmente era un sacco di cemento, diventa 3/4 e il dosaggio non è più corretto." 8

Il dosaggio di materiale è fondamentale per garantire una giusta consistenza. Per verificare una classe di consistenza si effettua sul calcestruzzo fresco lo slump test: un metodo per determinare il livello di abbassamento dell'impasto e il livello di lavorabilità e coesione, da una classe di consistenza S1 (molto rigida) a S6 (molto fluida). 9 Un'eccessiva presenza di acqua può essere causa di una superficie porosa, in grado di compromettere la futura durabilità del manufatto. Nessun test viene effettuato ad Haiti per verificare la classe di consistenza. Il corretto rapporto a/c è compreso tra 0,4 e 0,6 a seconda della necessità: un impasto più fluido permette una maggiore lavorabilità in fase di posa in opera; un impasto più asciutto avrà una maggiore durabilità. Raramente si opera seguendo un corretto dosaggio, sia di cemento che di acqua. Il risultato è una matrice cementizia con contenuto di acqua variabile.

La fase di stagionatura del calcestruzzo è sconosciuta da buona parte dei maçons. Al fine di ottenere le specifiche desiderate, è opportuno procedere con la stagionatura, ovvero la conservazione del calcestruzzo in un clima caldo

e umido, al riparo dal calore esterno, dal vento e dalle piogge. Al termine della stagionatura, il calcestruzzo indurito sviluppa tutte le sue proprietà ed è possibile procedere con la rimozione delle casseforme. Per conoscere le effettive proprietà meccaniche andrebbero prima effettuati dei test a compressione su provini di forma cubica o cilindrica, confezionati e stagionati secondo normativa. Non tutti dispongono dei mezzi necessari per lo svolgimento di tali test, pertanto si assiste ad un impiego di calcestruzzo senza la reale conoscenza delle sue caratteristiche.

Oltre alla realizzazione di blocchi in calcestruzzo, è molto impiegato il calcestruzzo armato. Ad esso si legano i problemi relativi all'utilizzo di armature metalliche. Le due principali cause della scarsa efficienza del calcestruzzo armato riguardano

la poca accuratezza nel posizionamento delle armature e l'utilizzo di ferri già corrosi. Spesso nei cantieri haitiani le armature rimangono per lungo tempo soggette all'aggressività dell'ambiente esterno. Si verificano pertanto fenomeni di corrosione, ovvero la trasformazione dell'acciaio in ruggine, che infragiliscono l'armatura e compromettono la durabilità del calcestruzzo. Un'armatura già corrosa favorisce infatti la fessurazione e la carbonatazione del calcestruzzo. Il mercato delle armature ad Haiti è gestito dall'Acierie d'Haiti, nata nel 1972, leader nella produzione e distribuzione di acciaio.

"Oltre la metà delle armature metalliche proviene dall'Acierie d'Haiti che a sua volta importa il prodotto già finito da altri

Fig. 2.14. Edificio incompleto con armature a vista.



Paesi. Ad Haiti nessuno produce armature metalliche, la totalità di esse proviene dall'estero. Il prodotto appena acquistato possiede le caratteristiche necessarie, conformi alla normativa vigente, ma purtroppo troppo spesso lasciato alle intemperie ed in seguito male impiegato, perde quelle che sono le sue reali proprietà." 10

L'importazione delle armature incide su problemi legati alla sostenibilità ambientale ed economica. Il mercato delle armature è in continua crescita e causa un aumento di emissioni di gas e di costi. 11 Se da un lato dunque il CNBH ha dettato le linee guida per la regolamentazione sulla produzione di calcestruzzo e calcestruzzo armato, la maggioranza delle opere non seguono il corretto procedimento. Le caratteristiche finali della pasta cementizia e del calcestruzzo armato non sono appropriate e rappresentano la principale causa dell'inadeguatezza delle strutture.

Note:

- ¹ Prépetit, Claude. Introduction à l'étude des matériaux de construction d'Haiti. Editions de l'Université d'Etat d'Haiti, 2009.
- ² Global Cement Magazin. "Cement exports to Haiti from Dominican Republic wane." 19 gennaio 2018.
- 3 Ibid.
- ⁴ Campioli, A., Lavagna M. Tecniche e Architettura. CittàStudi. Febbraio 2013.
- ⁵ Gastaldi M., Bertolini L. Introduzione ai materiali per l'architettura. CittàStudi. Settembre 2011.
- 6 Intervista a Micheal Gay, president of GDG Béton et Construction. 29 novembre 2018.
- ⁷ Peck, Martin. Calcestruzzo. UTET Scienze Tecniche. 2008.
- ⁸ Intervista a Micheal Gay, president of GDG Béton et Construction. 29 novembre 2018.
- ⁹ Gastaldi, Bertolini, op. cit.
- ¹⁰ Intervista a Jean Marc Glaudon, Directeur Géneral Acierie d'Haiti. 27 novembre 2018.
- ¹¹ Global Steel Rebars Market 2018 History, Overviews, Demand and Forecast 2023. QY Resarch, June 2018.





2.4

L'ESPERIENZA DI BUILD CHANGE E REZO/BUILD CHANGE and rezo experience

Oltre alla produzione abusiva, esistono delle piccole realtà che, nonostante le risorse contenute, riescono a dare un contributo positivo all'architettura haitiana. È questo il caso di Build Change, un'organizzazione non governativa senza fini di lucro nata nel 2004 e con diverse sedi sparse nel Mondo (Colombia, Guatemala, Indonesia, Nepal, Filippine), attiva ad Haiti dal 2010.¹ L'organizzazione si basa principalmente sulla ricostruzione di abitazioni e scuole in seguito a disastri ambientali. Viene finanziata da un'altra associazione locale, FONKOZE, che mira a fornire servizi finanziari alle famiglie haitiane più povere.²

Dal 2014 Build Change è in collaborazione con il network REZO, una piattaforma che offre il supporto tecnico di ingegneri, prodotti e materiali da costruzione.³ REZO è specializzata nella realizzazione di blocchi in calcestruzzo e opera in due direzioni: promuovere la formazione di tutti coloro che aderiscono al programma e fornire i mezzi necessari alla realizzazione di prodotti di buona qualità.

Durante la permanenza ad Haiti ho avuto la fortuna di conoscere due degli ingegneri di REZO, Gaspard Pierristal e Jean Herode Nazaire, con i quali visitato la sede di Build Change e alcune

Fig. 2.15. Davide Damigella con il Team di REZO.



fabbriche di REZO. La sede principale di Build Change, a Pacot (Port-au-Prince), è il luogo in cui si svolgono le lezioni teoriche e il training che comprende tutte le fasi della costruzione. Al termine della formazione, i partecipanti vengono valutati.

REZO seleziona imprese di costruzione in grado di rispettare gli standard nella produzione di blocchi in calcestruzzo. Le imprese all'interno del network utilizzano materiali di buona qualità, macchinari che garantiscono una lavorazione migliore di quella manuale e test su campioni per conoscere le proprietà del prodotto finale. Il principale test effettuato su provini di calcestruzzo indurito serve a determinare il valore di rottura a compressione e verificare che sia conforme alla normativa.

Il test prevede le seguenti fasi:

- verifica planarità (tolleranza 0,5 mm);
- in caso di non complanarità si procede con rettifica meccanica;
- trascrizione dei dati del provino (sigla/ posizione in opera);
- misura con calibro delle dimensioni del

Fig. 2.16. Macchina per test a compressione.



provino;

- pesatura del provino;
- posizionamento del provino tra i piatti della pressa, facendo attenzione a centrarlo nel cerchio disegnato nel piatto inferiore;
- accensione della macchina, chiusura del circuito e contrasto del piatto superiore con il provino;
- inserimento della velocità di prova (50N/mm² sec);
- annotazione del valore di rottura e relativo tipo di rottura: S = Soddisfacente; F = Esplosivo; 1, 2, 3, 4 = Non soddisfacente;
- la macchina viene svuotata e il residuo viene posizionato su un carrello che successivamente sarà depositato nell'area di stoccaggio del materiale provato per almeno 20 giorni dopo la certificazione corrispondente;
- a fianco di ciascun provino viene segnata la data di effettuazione della prova.

Un secondo metodo per testare i blocchi è il cosiddetto "drop-weight test" o "drop test", raccomandato dal CNBH per testare la resistenza

Fig. 2.17. Macchine per drop-weight test.



di un blocco all'impatto. La prova consiste nel posizionare il blocco, allineandolo verticalmente e mantenendolo con una mano, all'interno di una cornice all'altezza di 90 cm. Assicurandosi che l'altezza non sia variata, si lascia cadere il blocco. È possibile ripetere il test più volte, valutando il numero di cadute necessarie alla rottura del blocco. L'interpretazione avviene mediante l'analisi dei danni subiti dal provino in seguito alla caduta:

- rottura in più di tre parti = qualità non accettabile;
- rottura in tre parti = qualità accettabile;
- rottura in due parti o non rottura = qualità buona.

Nei cantieri Build Change-REZO la provenienza e la lavorazione dei prodotti da costruzione è costantemente controllata. Gli inerti provengono esclusivamente da cave di rocce calcaree di origine carbonatica, dalle quali si ottiene la sabbia. Non vengono utilizzate sabbie di fiume, sabbie di origine basaltica o sabbie provenienti da terreni ferrosi. L'ottenimento di una buona granulometria avviene tramite una macina che trasforma le rocce in inerti fini e grossolani per un completo assortimento.

Viene utilizzato cemento Portland strutturale la cui provenienza è spesso haitiana. A seconda dei prezzi del mercato può anche essere importato dalla Repubblica Dominicana o dal Sud America. La miscelazione a secco di cemento e aggregati avviene in piccole betoniere e non a terra, riducendo la presenza di impurità nella pasta cementizia. L'acqua viene controllata e in seguito

Fig. 2.18. Pressa per blocchi in calcestruzzo.



aggiunta gradualmente nella miscela. Una volta ottenuta la giusta consistenza, il calcestruzzo viene immesso all'interno di una pressa (meccanica o idraulica) che conferisce la forma ai blocchi. Il calcestruzzo viene vibrato per aumentare la compattezza.

La tipologia di blocchi realizzati segue gli standard del CNBH. I blocchi con tre alveoli sono i più venduti; vengono comunque realizzati anche blocchi con due alveoli. Non si producono blocchi con quattro alveoli.

Una volta ottenuti i blocchi si passa alla stagionatura del calcestruzzo. I blocchi vengono posizionati su un supporto ligneo, per evitare il contatto diretto col suolo, e in seguito vengono coperti con teli impermeabili fino al completamento della stagionatura. La supervisione di ingegneri preparati permette il raggiungimento di standard qualitativi elevati, oltre a contribuire a migliorare le conoscenze e le capacità degli lavoratori.

Note:

¹ https://www.buildchange.org/

² https://fonkoze.org/

³ http://rezo.ht/





2.5 LE GRANDI IMPRESE/LARGEST COMPANIES

Il 2010 è stato l'anno del cambiamento: in seguito al terremoto la domanda di calcestruzzo è aumentata e di conseguenza è aumentata la produzione non controllata; sono nate nuove grandi compagnie ed è aumentata l'importazione di armature.

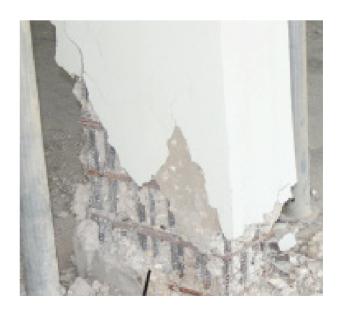
"Prima del terremoto del 2010 CINA S.A. e CEMEX erano le due più grandi compagnie di calcestruzzo ad Haiti e si dividevano equamente il mercato: CINA, di proprietà del governo haitiano e di Holcim, una grande società svizzera, era solita importare il cemento dall'Europa; mentre CEMEX importava cemento esclusivamente dal Venezuela. Un altro evento che è seguito al terremoto del 2010 è stata la nascita di un nuovo tipo di cemento, non conforme alla

Fig. 2.19. Segragazione alla base di una colonna.



normativa ASTM, chiamato general use cement. Questo cemento non possiede caratteristiche strutturali e garantisce prestazioni fino a un massimo di 15-20 MPa se realizzato e impiegato correttamente, altrimenti le prestazioni meccaniche si riducono e finiscono per scendere al di sotto del minimo stabilito dal CNBH."

Fig. 2.20. Una delle colonne danneggiate nel parcheggio interrato.



Dunque il terremoto del 2010 ha avuto un duplice risvolto: se da un lato la nascita di nuove compagnie ha aiutato il settore edile e l'economia haitiana, dall'altro si è abbassata la qualità del prodotto finale poiché è aumentato il consumo di general use cement da parte delle piccole imprese e da parte di chi produce calcestruzzo illegalmente. Oggi le grandi compagnie haitiane seguono gli standard e le raccomandazioni per una corretta produzione di calcestruzzo fornite dal CNBH. Però, nonostante il codice nazionale abbia rappresentato un svolta nel settore delle costruzioni, non sempre viene seguito.

"Molte delle grandi imprese utilizzano l'International Building Code (IBC), o in alcuni casi il Florida Building Code (FBC), poiché la Florida ha le medesime condizioni climatiche e di rischio uragani di Haiti; in casi molto isolati viene preso in considerazione il National Building Code of Canada (NBC). Questo avviene poiché il pensiero comune è che il CNBH sia semplicemente l'insieme di normative prese da altri codici; l'utilizzo dell'IBC riesce dunque a coprire qualunque tipologia costruttiva ad Haiti e per questo motivo risulta essere il più seguito." ²

Le grandi imprese edili e i grandi cementifici di Haiti lavorano solo per grandi clienti, realizzano opere pubbliche (qualora vengano erogati sufficienti fondi) e nella maggior parte dei casi realizzano opere a regola d'arte che durano nel tempo e soprattutto resistono alle scosse sismiche. Un esempio di quanto detto è la Digicel Tower di Port-au-Prince. Si tratta dell'edificio più alto della capitale, un grattacielo di 12 piani alto più di 46 m, nella Avenue Jean-Paul II. L'impresa che

responsabile dei lavori è la GDG Béton.

La struttura in calcestruzzo armato dell'edificio ha reagito bene alle scosse del 2010, riportando danni trascurabili e riparabili, al contrario di più della metà degli edifici della capitale. In seguito al terremoto sono stati effettuati dei test di vibrazione ambientale (AVB) per analizzare il comportamento dinamico dell'edificio e i danni riportati. Tali test sono stati effettuati nel 2012 dal dipartimento di ingegneria dell'Università di Sherbrooke, Canada, e pubblicati l'anno seguente. ³

La struttura della Digicel Tower è stata realizzata in quattro fasi, come mostra la pianta (fig. 24), ognuna delle quali è stata pensata come struttura indipendente. L'edificio è stato progettato secondo le disposizioni ASCE 7-05.

I danni non strutturali hanno avuto luogo nella porzione superiore della torre: cadute di controsoffitti, rotture di finestre, crepe e collassi parziali della muratura di tamponamento. I danni maggiori sono stati dovuti alla inflessione di colonne e travi ai piani superiori. Dal settimo piano in poi, alla base delle colonne sono stati documentati fenomeni di segregazione degli aggregati di dimensioni maggiori, dovuti ad una mancata vibrazione del calcestruzzo fresco. Altri danni sono stati riscontrati alla base della torre, nei muri perimetrali in calcestruzzo armato. Nonostante ciò, dopo un'ispezione subito dopo il terremoto, l'edificio è stato ritenuto sicuro e le riparazioni sono state effettuate nel giro di pochi mesi. Alcune delle parti basse dell'edificio hanno subito danni irreparabili e sono state demolite. Gran parte delle colonne del parcheggio interrato ha subito notevoli danni.

Il rilevamento delle vibrazioni ambientali della torre ha avuto luogo il 18 e il 19 maggio 2010, quattro mesi dopo il terremoto. In questi due giorni sono state rilevate 27 configurazioni di acquisizione dati e sei modalità di deformazione. Gli esiti dello studio hanno dimostrato come, nonostante la presenza di danni e i valori relativi al calcestruzzo fossero inferiori rispetto a quelli riportati in fase di costruzione, la struttura si sia comportata bene al sisma.

Ciò dimostra come ad Haiti, sebbene la maggioranza delle opere presentino dei difetti, è possibile realizzare manufatti di qualità che possano durare nel tempo e dare fiducia al popolo.

Fig. 2.21. Sezione orizzontale con fasi costruttive.

- ¹ Intervista a Micheal Gay, president of GDG Béton et Construction. 29 novembre 2018.
- ² Ibid.
- ³ Boulanger, B., Lamarche, C.P. et al. Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake. "Canadian Journal of Civil Engineering." 40(8):791 802. August 2013.

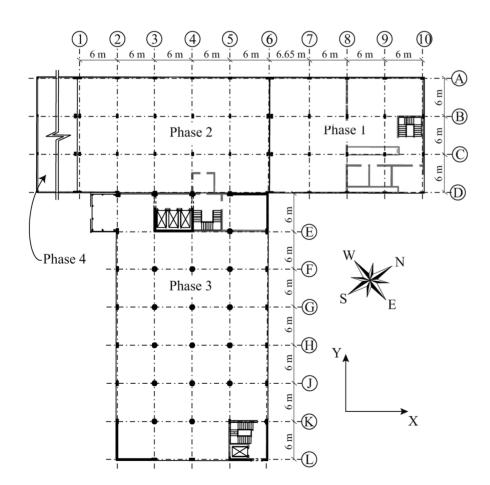
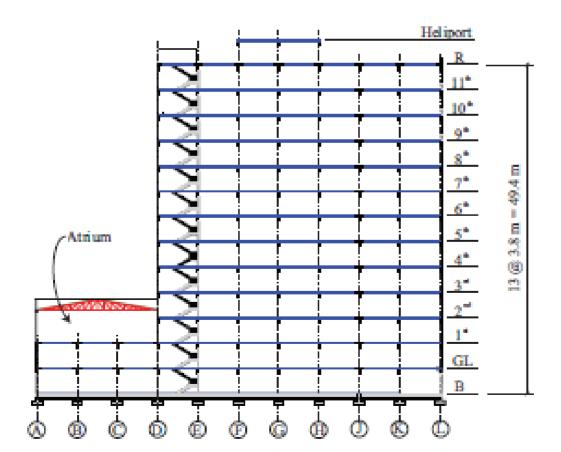


Fig. 2.22. Sezione verticale.



CAPITOLO

В

Α

В

M

В

Ù

В

Α

M

0

0



3.1 LA PIANTA/THE PLANT

Il bambù, nome comune della Bambusa, rappresenta una tribù di piante perenni sempreverdi appartenente alla famiglia delle Poaceae, ovvero le Gramineae, e alla sottofamiglia delle Bambusoideae. La denominazione scientifica della tribù è apparsa per la prima volta nel 1829, in seguito alla pubblicazione dell'opera del botanico, naturalista e politico belga Barthélemy Charles Joseph Dumortier (1797-1878) e del botanico tedesco Karl Sigismund Kunth (1788-1850).1 La sottofamialia delle Bambusoideae si divide in due gruppi: le Bambusoideae erbacee, con culmi più morbidi, e le Bambusoideae legnose, o semplicemente bambù, che formano appunto la tribù delle Bambusae. Il bambù è una pianta arbustiva, infestante, che varia da un'altezza di pochi centimetri fino ai 40 metri e raggiunge diametri di anche 30 cm.² Esistono nel mondo 121 generi (25 erbacei e 96 legnosi) per un totale di oltre 1600 specie di bambù. Esse crescono in climi tropicali, subtropicali e temperati, ma anche in ambienti con temperature rigide a oltre 3000 m di altezza ³

La maggiore concentrazione di tali specie e il più alto tasso di crescita si trova in Asia, in Oceania e nelle isole adiacenti, dove si conta il 67% delle specie di bambù; in America, in America centrale, in America meridionale e nelle isole limitrofe si trovano circa 200 specie native, più altre importate; in Africa, prevalentemente in Madagascar esistono poche specie native. Non esistono specie indigene in Europa.⁴

La struttura morfologica della pianta è formata da rizoma, radici, germoglio, culmo, nodo internodo, rami e foglie. La sua composizione interna è prevalentemente costituita da cellulosa ed emicellulosa, zuccheri e lignina.

Il rizoma è l'elemento sotterraneo che costituisce la struttura di sostegno della pianta. Esistono due forme basiche di rizoma: il rizoma leptomorfo o monopodiale e il rizoma pachimorfo o simpodiale (McClure, 1925).⁵ La crescita monopodiale è

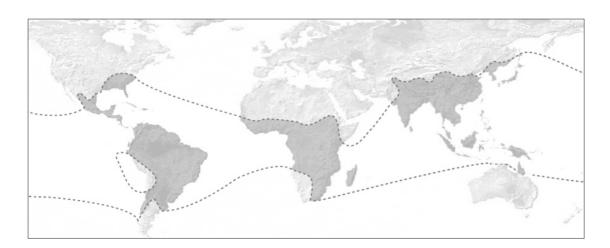
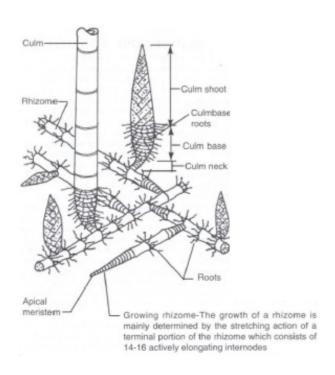


Fig. 3.1. Distribuzione del bambù nel mondo.

caratterizzata da una ramificazione orizzontale delle radici con una velocità e un vigore sorprendenti. Si tratta di una crescita invasiva, particolarmente frequente nelle zone con climi temperati. La crescita simpodiale invece riguarda le specie di bambù cespitosi, che crescono in piccoli gruppi. Il rizoma simpodiale è corto e tozzo; i germogli nascono molto ravvicinati e si sviluppano in maniera concentrica e uniforme. In generale, la crescita è una delle caratteristiche principali della pianta: essa è tra le più veloci al mondo e alcune specie possono crescere anche 1 metro al giorno.

Le radici svolgono la funzione di assorbimento delle sostanze nutritive, sono fibrose, sottili ma robuste al tempo stesso. Da esse nascono i germogli. Il vigore degli elementi sotterranei (rizoma e radici) contribuisce alla conservazione del terreno, alla stabilizzazione di pendii e alla protezione del suolo dall'erosione dovuta alle

Fig. 3.2. Rizoma leptomorfo (monopodiale).

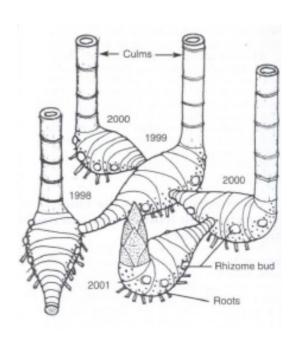


acque piovane, ai forti venti o agli smottamenti.⁶ Il culmo nasce dal rizoma ed è collegato ad esso dal collo, nelle specie leptomorfe. Non vi è presenza del collo nelle specie pachimorfe: il collegamento al rizoma avviene direttamente dalla base del culmo. Fanno parte del culmo i nodi e gli internodi: i nodi sono la parte più resistente del culmo e irrigidiscono l'intero culmo; gli internodi rappresentano la cavità interna.⁷

I rami nascono al di sopra del nodo (da 3 a 5 per nodo) e il loro ruolo è quello di sostenere il fogliame, la parte fondamentale per i processi fisiologici come la fotosintesi e la respirazione.

Il bambù rappresenta una risorsa rinnovabile importante. La sua velocità di crescita è infatti un fattore chiave per la riforestazione di aree degradate o desertificate. La coltivazione inoltre necessita di poca manutenzione e acqua, pertanto risulta poco dispendiosa. La capacità di stabilizzare terreni in pendenza è importante per zone a rischio

Fig. 3.3. Sistema di rizomi pachimorfi (simpodiali).



erosione. Inoltre il processo di respirazione della pianta è in grado di assorbire notevoli quantità di CO2 (circa 10-15 tonnellate per ettaro ogni anno) e rilasciare il 35% di ossigeno in più rispetto alla maggior parte delle altre piante.⁸

Il bambù è una pianta versatile, dalle molteplici applicazioni: strutture, utensili, oggetti d'arte, cosmesi, farmacologia, oli, cibi, bevande. Viene anche utilizzato per la produzione di biomassa, bioetanolo e carbone.⁹

Nonostante sia una pianta resistente, la durabilità del bambù allo stato naturale è uno dei fattori che ne limitano l'utilizzo in edilizia. Una delle cause principali della bassa durabilità è l'attacco di funghi e insetti che si nutrono degli zuccheri presenti nella pianta e che sfruttano la cavità degli internodi come riparo.

La durabilità del bambù varia a seconda della

specie: l'attacco di funghi e insetti, nonché l'attacco batterico, è maggiore in bambù dolci e morbidi, mentre le specie più "amare" e dure sono, al contrario, poco appetibili. Al fine di aumentare la durabilità, specialmente per usi strutturali, è consigliato sottoporre la pianta a trattamenti di tipo naturale o con prodotti chimici. Il taglio deve avvenire quando il bambù ha un'età compresa tra i 3 e i 6 anni e quando il contenuto di amido è basso. I culmi vanno conservati in un luogo asciutto evitando il contatto diretto con il suolo e lasciando sufficiente spazio per il passaggio di aria. I trattamenti vanno effettuati prima del trasporto. Inoltre è indispensabile effettuare una corretta progettazione (in particolare di coperture e fondazioni): nessun tipo di trattamento sarà efficace a garantire la durabilità dell'edificio se il progetto è errato.¹⁰

Fig. 3.4. Bosco di bambù.



I trattamenti di tipo naturale o tradizionale sono i più diffusi poiché poco dispendiosi economicamente. I principali sono: ¹¹

- stagionatura in cespuglio o traspirazione: i culmi vengono tagliati e lasciati stagionare per 8 giorni in piedi nel bambuseto. La fermentazione degli zuccheri e dei carboidrati produce alcol che allontana gli insetti;
- stagionatura per immersione in acqua: i culmi freschi vengono immersi in acqua per settimane in modo da agevolare la fuoriuscita di zuccheri e amidi. La prolungata immersione può causare delle macchie sulla superficie esterna del culmo;
- cottura: l'esposizione al fuoco, collocando il bambù al di sopra di una brace o in forni a gas, viene spesso utilizzata per modificare la curvatura del culmo. Il calore provoca anche

- la morte di insetti e funghi, ma può causare delle fessurazioni;
- affumicamento: la permanenza per pochi minuti in camere di calore provoca un cambiamento della colorazione;
- incalcinatura: apposizione di uno strato di calce sulla superficie esterna del culmo. Il bambù aumenta la sua impermeabilità e la sua resistenza all'attacco di insetti;
- trattamento con fango: un metodo efficace per ridurre il contenuto di amido, sostanza di cui si nutrono gli insetti.

La convenienza economica dei trattamenti naturali non ne garantisce l'efficacia. Soprattutto per gli impieghi strutturali, il bambù va sottoposto ad altri trattamenti con prodotti chimici in grado di aumentare la sua durabilità. Alcune delle caratteristiche della pianta potrebbero però

Fig. 3.5. Stagionatura di culmi appena tagliati.



causare delle complicazioni durante il trattamento: l'alto contenuto di silice, infatti, rende difficile la penetrazione della maggior parte dei preservanti. L'assorbimento delle sostanze chimiche avviene dai vasi conduttori che si chiudono nell'arco di un giorno dal momento del taglio. Pertanto il trattamento deve avvenire nel giro di poche ore. Le sostanze chimiche più impiegate sono a base di boro (acido borico e borace), cromo e rame. I principali trattamenti chimici sono i seguenti: 12

- immersione: totale immersione del culmo in una soluzione contenente acido borico e borace (2-4%) per circa 8 settimane. Alcune soluzioni contengono anche solfati di rame e cromato di zinco;
- metodo di diffusione verticale: posizionando il bambù in posizione verticale e forando i nodi, si versa ogni giorno, per 14 giorni, una

- soluzione di pentaborato (4-6%). Bisogna assicurarsi che il bambù non presenti fori o fessure che causerebbero la fuoriuscita della soluzione;
- bollitura: immergere il bambù in una soluzione di soda caustica a una temperatura compresa tra 94 e 100 °C per circa mezz'ora. Una prolungata immersione può danneggiare il materiale;
- trattamento per pressione: accelera il processo di penetrazione della soluzione di pentaborato all'interno di un'autoclave. La pressione oscilla tra 0,5 e 1,5 N/mm²;
- metodi di Boucherie: iniezione del prodotto preservante nei vasi conduttori della pianta.
 Se l'iniezione avviene con una pompa o un compressore, si parla di metodo di Boucherie modificato;

Fig. 3.6. Culmi stagionati, pronti per l'utilizzo.



- metodo per traspirazione delle foglie: irrorazione dei vasi conduttori attraverso l'impregnazione delle foglie. Richiede tempi lunghi e comporta un elevato utilizzo di prodotti chimici;
- trattamento freddo-caldo: si tratta di alternare l'immersione del bambù (tavole di bambù o bambù splittato) in una soluzione da 100 °C a temperatura ambiente.

I trattamenti di tipo naturale sono particolarmente economici ma producono risultati inferiori a quelli chimici. Questi, al contrario, possono notevolmente aumentare la durabilità del bambù ma con alcune conseguenze: un trattamento chimico comporta costi superiori di circa il 30%; sostanze come l'arsenico, ma anche molte altre, sono nocive per l'uomo e per l'ambiente, nonché per la pianta stessa; è da evitare bruciare il bambù trattato chimicamente alla fine del suo ciclo di vita e utilizzarlo per tubature o condotti per l'acqua.¹³

¹ Dumortier, B.C. Analyse des familles des plantes, avec l'indication des principaux genres qui s'y rattachent. Tournay, 1829.

² López, Oscar Hidalgo. Bamboo: The Gift of the Gods. The Author, 2003.

³ McClure, F.A. Bamboo as a Building Material. U.S. Departement of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Washington, D.C. 1953.

⁴ Ibid.

⁵ López, op. cit. (2003).

⁶ Càrdenas Laverde, Mauricio. *Il bambù come materiale da costruzione*. Sistemi editoriali. 2011.

⁷ Ibid.

⁸ Caltabiano I., Lacirignola, A. Bambù per ideare, sperimentare e costruire. Aracne editrice. 2012.

⁹ Caltabiano, Lacirignola, op. cit.

¹⁰ Janssen, J.J.A. *Designing and building with bamboo*. Technical University of Eindhoven. INBAR, Technical report no. 20. 2000.

¹¹ Laverde, op. cit.

¹² Ibid.

¹³ Ibid.





3.2 **PROPRIETÀ E STANDARD INTERNAZIONALI/PROPERTIES AND INTERNATIONAL STARDADS**

Non tutte le specie di bambù hanno caratteristiche adatte alla costruzione e le proprietà della pianta variano a seconda della dimensione, del peso specifico, del contenuto di umidità, ma anche delle condizioni climatiche esterne. Le seguenti proprietà e le relative descrizioni fanno riferimento al testo di Oscar Hidalgo López (2003).

La massa volumica. Dipende dalla struttura anatomica della pianta, ovvero dalla quantità e dalla distribuzione delle fibre attorno ai fasci vascolari, dal diametro delle fibre e dallo spessore della parete cellulare. In generale il bambù ha una densità che varia dai 500 ai 900 kg/m³. Le specie con densità maggiore sono quelle aventi rizomi pachimorfi (o simpodiali). La densità aumenta negli strati periferici e nella parte alta del culmo: quest'ultima presenta i valori più alti di resistenza a compressione, a flessione e di modulo elastico. Il contenuto di umidità. Rappresenta il peso dell'acqua contenuta nella parete e determina le proprietà meccaniche del bambù e la sua durabilità. Si calcola come il rapporto tra la differenza di peso del culmo umido e del culmo secco, diviso per il peso del culmo secco. Il contenuto di umidità varia a seconda dell'età del culmo e dalle condizioni igrometriche dell'ambiente. Solitamente i culmi più giovani sono i più umidi, con contenuto di umidità che supera il 100%, sia nella parte inferiore che superiore. Superati i due anni di età il contenuto scende fino al 60%. La resistenza meccanica diminuisce con l'aumentare del contenuto di umidità, esattamente come accade col legno. Il bambù umido è infatti flessibile e tenero, oltre ad essere meno durevole.

Ritiro e rigonfiamento. Come il legno, il bambù è un materiale anisotropo che, nel momento in cui perde il contenuto di acqua, inizia la fase di ritiro. Il ritiro avviene prevalentemente in direzione radiale (4-14%) e nel diametro (3-12%). Il bambù è anche un materiale igroscopico, pertanto il bambù secco, se esposto a condizioni di umidità elevata, tende a riassorbire il contenuto di acqua perso, aumentando il proprio volume.

La durezza. Rappresenta la resistenza all'usura e alla deformazione dovuta a forze esterne. Varia in base al contenuto di silicio e alla percentuale di cellulosa. La presenza di silicio contribuisce inoltre ad aumentare la resistenza all'attacco batterico e la resistenza al fuoco. La durezza del materiale non influenza la resistenza al taglio parallelo all'asse longitudinale. Pertanto il culmo del bambù è facilmente divisibile. Questo rappresenta un vantaggio in fase di splittaggio, ma anche un problema in quanto causa la formazione di fenditure longitudinali (per esempio durante la bullonatura). Le proprietà fisiche elencate influiscono sulle proprietà meccaniche della pianta. Oltre che dalla specie, le caratteristiche meccaniche del bambù dipendono da:

- diametro del culmo;
- spessore delle pareti;
- età della pianta al momento del taglio;
- massa volumica;
- porzione del culmo presa in considerazione;
- contenuto di umidità.

L'elevata resistenza è dovuta alle fibre di cellulosa che fungono da rinforzo per la pianta come le armature metalliche per il calcestruzzo. La concentrazione delle fibre aumenta dall'interno verso l'esterno e rappresenta il principale elemento per determinare il modulo elastico della pianta. La sezione cava del bambù inoltre rende la pianta un profilato naturale, più efficiente di una sezione lignea con la medesima area.¹

Resistenza a trazione. Si tratta della caratteristica meccanica più sorprendente del bambù, paragonabile a quella dell'acciaio. A partire dal terzo anno di età i culmi sviluppano una maggiore resistenza a trazione.² Oltre all'età, essa dipende dalla massa volumica e dalla porzione di culmo interessata

Studi condotti su campioni di Phyllostachys edulis di due anni hanno evidenziato una resistenza a trazione di 230 MPa, contro i 50 MPa delle specie legnose più comunemente usate in edilizia (abete, pino).³ La resistenza a trazione è molto minore se la forza è applicata perpendicolarmente alle fibre. Resistenza a compressione. In generale, per le specie di bambù più diffuse, la resistenza a compressione si attesta tra i 25 e i 95 N/mm². Essa è direttamente correlata all'età del culmo e alla sua massa volumica: un culmo al settimo anno di età raggiunge infatti una maggiore densità e resistenza a compressione grazie all'indurimento delle pareti. Inoltre le porzioni di culmo posizionate nella parte alta della pianta sono le più resistenti: dividendo il culmo in dieci porzioni (0 la più bassa e 10 la più alta), la porzione numero 8 risulta la più resistente. La porzione di culmo più resistente è anche quella che presenta un nodo posto in posizione centrale rispetto alla luce del provino.⁴ Resistenza a flessione. È paragonabile a quella delle più resistenti sezioni lignee utilizzate in edilizia. Test a flessione dimostrano che, al contrario del legno, il bambù non presenta fessurazioni durante la flessione e, una volta tolto il carico, torna alla forma originale.⁵ Il bambù è un materiale elastico che presenta però un comportamento a rottura

di tipo fragile: ciò significa che il materiale non manifesta alcun segno preventivo prima della rottura.

Resistenza a taglio. I parametri relativi al taglio sono particolarmente bassi sia su strisce di bambù che su culmi interi. La splittabilità longitudinale rappresenta un limite per la pianta. In particolare la resistenza a taglio aumenta al decrescere dello spessore delle pareti dalla porzione inferiore a quella superiore; aumenta inoltre con un contenuto di acqua minore.

Sono pochi i Paesi con una normativa che regola l'utilizzo del bambù nelle costruzioni. Ad Haiti, il CNBH non fa riferimento a questo materiale. Pertanto in assenza di una normativa nazionale si fa riferimento agli standard ISO (International Organization for Standardization).6

La ISO 22156: 2004 (Bamboo - Structural Design), rivista e confermata nel 2012 (ISO/CD 22156), si applica per strutture in bambù (tondo, splittato, laminato) o pannelli di bambù uniti con adesivi o elementi di fissaggio meccanici. Essa si basa sulla progettazione dello stato limite e sulle prestazioni della struttura. Riguarda solo i requisiti di resistenza meccanica, manutenzione e durata delle strutture.

La ISO 22157: 2019 (Bamboo structures - Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms - Test methods) ha recentemente sostituito la ISO 22157-1: 2004 che specifica i metodi di prova per valutare le seguenti proprietà fisiche e di resistenza: contenuto di umidità, massa volumica, ritiro, resistenza a compressione, flessione, taglio e tensione. Rispetto alla precedente versione, qui vengono specificati i metodi per misurare le proprietà di resistenza, parallelamente alla direzione delle fibre, a compressione, a tensione e flessione. Fornisce anche metodi per stimare i moduli di

elasticità a flessione, compressione e tensione parallelamente e perpendicolarmente alle fibre.

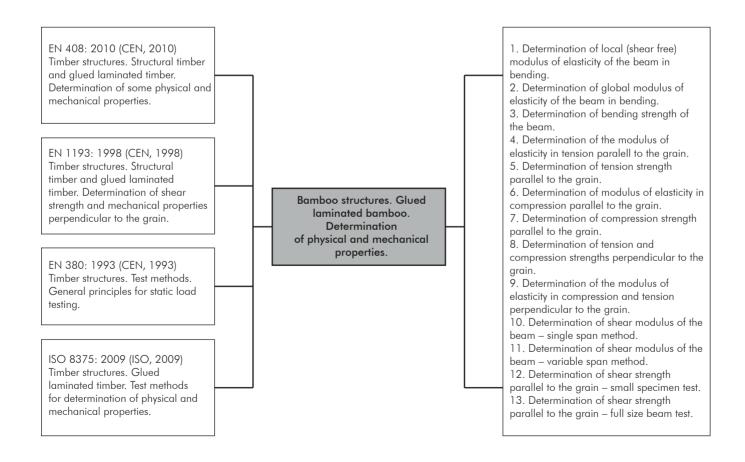
La ISO 19624: 2018 (Bamboo structures - Grading of bamboo culms - Basic principles and procedures) specifica le procedure per il selezionamento visivo e meccanico del bambù per applicazioni strutturali. Questo documento non definisce né affronta criteri di accettazione ed è applicabile esclusivamente a culmi di bambù stagionato.

La ISO/DIS 21625 definisce la terminologia, le parti della pianta e i prodotti realizzabili in bambù. La ISO 23478 specifica i test per le proprietà fisiche e meccaniche da effettuare su bambù lamellare.

Nel mondo esistono norme che regolano l'utilizzo di bambù per parti strutturali. Le principali sono: ⁷

- JG/T 199-2007 (Cina);
- NTC 5407-2018 (Colombia);
- NTC 5525-2008 (Colombia);
- GPE INEN 42-1976 (Ecuador);
- IS 6874-2008 (India);
- IS 15912-2012 (India);
- Reglamento Nacional de Edificaciones,
 Section III. Code E100 (Perù);
- ASTM D5456 (USA).

Fig. 3.7. Principali norme europee e ISO.



L'utilizzo del bambù come rinforzo per il calcestruzzo viene così descritto dalla ISO 22156, sezione 14.1:

"Il bambù usato come rinforzo per calcestruzzo, malta, gesso, ecc. deve essere applicato solo se appropriati test hanno dimostrato che il bambù soddisferà i seguenti requisiti. Funzionerà come rinforzo durante la durata di servizio prevista della struttura, con particolare attenzione al ritiro e al rigonfiamento del bambù, al legame e all'influenza dell'umidità e dell'ambiente alcalino sul bambù. La deformazione deve soddisfare i requisiti per la struttura."

¹ J.J.A. Janssen, op. cit. (2000).

² Ibid.

³ Shigeyasu Amada. "Fiber Texture and Mechanical Graded Structure of Bamboo." Composites: Part B, 28 B. 1997.

⁴ Ibid.

⁵ Laverde, op. cit.

⁶ https://www.iso.org/home.html

⁷ Gatóo, A., Sharma, B. et al. Sustainable structures: Bamboo standards and building codes. "Engineering Sustainability." Ottobre 2014.





3.3 IL BAMBÙ AD HAITI/BAMBOO IN HAITI

I materiali da costruzione, ad eccezione del calcestruzzo, sono difficili da reperire e spesso economicamente inaccessibili. I materiali di origine vegetale vengono invece considerati inadatti alla costruzione e ritenuti dall'opinione locale poveri e poco prestanti. Tra questi materiali vi è anche il bambù che, nonostante le sue proprietà, spesso ignorate, ha un impiego molto limitato. In alcune zone montane e nelle aree più povere è possibile trovare ancora applicazioni strutturali del bambù. Attualmente trova molto più impiego in settori come l'oggettistica e gli elementi di

arredo per case e scuole. In ambito edilizio spesso ricopre ruoli secondari come la realizzazione di staccionate, ponteggi e opere di puntellamento. Questo avviene poiché la lavorazione per usi secondari prevede trattamenti meno dispendiosi ma soprattutto, non dovendo assolvere a compiti di tipo strutturale, il suo impiego è ben visto e accettato. Il bambù ad Haiti è presente solo in alcune aree, sebbene possa crescere in tutto il Paese. Purtroppo il suo sviluppo viene ostacolato dal pensiero comune degli abitanti che, a causa della richiesta contenuta, non contribuiscono

Fig. 3.8. Bambù e legno stoccati lungo un viale.



all'aumento delle coltivazioni. Le aree in cui è stata verificata la presenza di bambù sono: l'Arrondissement de Marmelade, la zona di Kenscoff, la porzione di territorio che costeggia il fiume Limbé fino a Cap Haitien e Jacmel. È possibile comunque trovare altre coltivazioni o bambuseti spontanei sul resto del territorio.

Oltre al bambù, è molto diffuso ad Haiti il vetiver (Chrysopogon zizanioides), anch'esso appartenente alla famiglia delle Poaceae. Si tratta di una pianta particolarmente forte, le cui foglie possono crescere fino a 1,5 metri di lunghezza. La colonizzazione del terreno da parte delle radici della pianta, in grado di estendersi fino a 4 metri di profondità, è utile per contenere l'erosione del suolo.¹ Viene utilizzato nelle aree rurali e di montagna per la realizzazione di coperture. In alcuni casi viene mescolato in una matrice di terra e argilla. Dalle radici del vetiver si estraggono oli essenziali molto impiegati in profumeria.

Poco diffuso è invece il rattan. Con il termine

Fig. 3.9. Opere di puntellamento in bambù.



rattan si fa riferimento alle 631 specie di palme rampicanti conosciute finora. Si tratta di piante con gambi molto robusti che, come il bambù e il vetiver, possono avere svariati utilizzi.²

Durante la permanenza ad Haiti ho osservato 15 specie di bambù.

Arundinaria falcata. Origine: Himalaya, India, Nepal. Può crescere a temperature molto basse fino ad un'altezza di oltre 3000 m. Altezza: 4,5-6 m. Diametro: 4-8,5 cm. Usi: rivestimento per coperture; oggetti d'arredo.

Bambusa lako. Origine: Indonesia, Malaysia, isola di Timor (a volte chiamato Timor black bamboo). Altezza: fino a 20 m, in condizioni climatiche ottimali (non fredde). Diametro: circa 10 cm. Usi: ornamentale. Nonostante le dimensioni, i culmi sono morbidi e non hanno una resistenza sufficiente per impieghi strutturali.

Bambusa multiplex. Origine: Cina, Bhutan, Nepal, Sri Lanka, Taiwan. Altezza: solitamente cresce fino a 2-3 m, ma in condizioni climatiche ottimali può anche raggiungere i 10 m. Diametro: 2,5-3 cm. Usi: siepi, barriere (grazie all'abbondante presenza di foglie e culmi ravvicinati), rivestimento per coperture, tecnica wattle and daub.

Bambusa nana. Origine: Cina. Altezza: raggiunge un massimo di 1,5 m. Diametro: 0,5 cm. Usi: ornamentale, giardinaggio.

Bambusa textilis. Origine: Cina. Altezza: 6-7 m ma può arrivare fino a 12 m. Diametro: circa 5 cm. Usi: mobili, utensili, artigianato.

Bambusa vulgaris. Origine: Cina, India; è una delle specie più diffuse al mondo. Altezza: compresa tra i 10 e i 20 m. Diametro: compreso tra i 5 e i 10 cm. Usi: i suoi impieghi sono molteplici. Talvolta usato anche come foraggio per animali, come combustibile o per le sue proprietà curative; come schermatura o per realizzare pannelli, pavimenti, tamponamenti. Utilizzato anche

Fig. 3.10. Staccionata in bambù.



per mobili, arredi, oggetti vari, carta.

Dendrocalamus giganteus. Origine: India, Sri Lanka, Bangladesh, Indonesia, Tailandia. Altezza: raggiunge anche i 40 m; è una delle specie più grandi al mondo. Diametro: fino a 30 cm. Usi: la sua durezza ne permette l'impiego per parti strutturali, telai, impalcature, scale, rinforzo per calcestruzzo. In India è utilizzato per la realizzazione di ponti.

Dendrocalamus latiflorus. Origine: Cina e Taiwan. Altezza: fino a 30 m in condizioni climatiche ottimali. Diametro: 20 cm. Usi: strutturali, oggetti ed elementi d'arredo. Più limitato è l'impiego nel settore alimentare.

Dendrocalamus strictus. Origine: sud-est dell'Asia. Altezza: raggiunge anche i 20 m. Diametro: 8 cm. Usi: molto utilizzato in edilizia, ma anche per mobili, utensili e oggetti vari. I suoi germogli e le sue foglie trovano impiego nel settore alimentare, mentre alcuni estratti sono impiegati in medicina.

- Guadua angustifolia. Origine: Colombia, Ecuador, Perù e Venezuela. Altezza: fino a 30 m. Diametro: 20 cm. Usi: è probabilmente la specie più utilizzata in ambito strutturale. Vengono realizzati anche pannelli e rivestimenti, oltre ad altri usi come la realizzazione di mobili e oggetti vari.
- **Phyllostachys aurea.** Origine: Cina. Altezza: raggiunge un massimo di 8 m. Diametro: 5 cm. Usi: prevalentemente usato come pianta da giardino o per oggetti d'arredo.
- Phyllostachys edulis (moso). Origine: Cina, Taiwan. Altezza: fino a 30 m. Diametro: 15 cm. Usi: trova impiego nel settore alimentare e nell'industria tessile. Le sue proprietà sono molto simili alla Guadua, pertanto anche gli impieghi in edilizia sono gli stessi.
- Phyllostachys kwangsiensis. Origine: Cina. Altezza: fino a 15 m. Diametro: fino a 10 cm. Usi: spesso usato come barriera o schermatura, ma anche per arredi e utensili vari.
- **Phyllostachys makinoi**. Origine: Giappone, Cina. Altezza: 15 m. Diametro: 7,5 cm. Usi: ornamentale, usi vari.
- **Phyllostachys nigra.** Origine: Cina. Altezza: fino a 10 m in condizioni ottimali. Diametro: 5-10 cm. Usi: ornamentale, usi vari.

¹ https://it.wikipedia.org

² https://www.inbar.int/why-bamboo-rattan/





3.4 L'ESPERIENZA DI KENSCOFF/THE KESCOFF EXPERIENCE

La visita a Kenscoff è avvenuta il 26 ottobre 2018. Si tratta di un piccolo comune nell'Arrondissement di Port-au-Prince, dipartimento dell'Ovest. Kenscoff è il comune più alto dei Caraibi, situato a oltre 1500 metri di altezza. Appena al di fuori del centro abitato si trova la Wynne Farm Ecological Reserve.

"La riserva è nata nel 1956 grazie a mio padre, Victor Ainsley Wynne, e a mia madre. Quando mio padre venne a vivere qui decise di insegnare alle persone come poter coltivare al meglio la propria terra, lui era un ingegnere civile. È venuto qui, nelle montagne e ha importato dieci varietà di bambù: alcune crebbero bene,

Fig. 3.11. Dendrocalamus gigantea.



altre no. Quella che ebbe più successo fu la Phyllostachys aurea che si adattò perfettamente alle nostre condizioni climatiche. Quando lui morì era riuscito a dare vita ad una riserva con circa 12 specie di bambù." ¹

La riserva, che si estende per oltre 12 ettari, ha come obiettivo principale l'insegnamento della gestione del suolo e la sua conservazione. All'epoca della sua fondazione, sono state piantate numerose specie di piante indigene per preservare la biodiversità di Haiti, e sono state importate altre specie da tutto il mondo, sperimentando nuove tecniche di coltivazione per riforestare l'intera area.²

Fig. 3.12. Bamusa multiplex.



Oggi la riserva si pone come modello di educazione ambientale per promuovere lo sviluppo sostenibile ad Haiti. La Wynne Farm collabora con l'USAID (United State Agency International Development), che gestisce il Rural Center for Sustainable Development. Qui vengono condotti studi sul suolo e sull'utilizzo di concime, da parte del Soil Lab, per l'ottimizzazione del raccolto e ricerche per il miglioramento delle attività agricole.³

La riserva riesce a mantenersi grazie alle vendite del settore ortofrutticolo, agli ingressi dei turisti e all'aiuto dei volontari. Il suo successo è dovuto al fatto che si tratta di un luogo attrattivo e molto attivo su tutti i fronti: quotidianamente organizza visita guidate, eventi (mostre e conferenze) corsi (yoga), workshop, campeggi (in tenda o in piccole abitazioni), escursioni a cavallo e molto altro.

La visita è nata dall'incontro con l'attuale

proprietaria, Jane Wynne, che, insieme alla figlia Sarah, gestisce la riserva. L'incontro si è svolto dalla riserva, ed è stato possibile documentare la presenza di diverse specie di bambù, le stesse che crescono nella Wynne Farm. Le specie sono le seguenti:

• Arundinaria falcata;

• Bambusa lako;

• Bambusa multiplex;

nel giardino privato di Jane, a pochi chilometri

- Bambusa nana;
- Bambusa textilis;
- Bambusa vulgaris;
- Dendrocalamus giganteus;
- Guadua angustifolia;
- Phyllostachys aurea;
- Phyllostachys edulis (Moso);
- Phyllostachys kwangsiensis;
- Phyllostachys nigra.

Fig. 3.13. Lavori in corso durante il primo workshop.



Si tratta prevalentemente di specie importate dal padre di Jane, dall'USDA (United State Department of Agriculture) e dall'ABS (American Bamboo Society).

Ho proseguito la visita nella Wynne Farm Ecological Reserve con la guida Frank Vendryes, esperto in bambù e membro della riserva, da cui provengono molte delle informazioni raccolte.

La Wynne Farm ha recentemente ospitato due workshop, entrambi promossi dalla AA School (Architectural Association School) e guidati dall'architetto John Osmond Naylor. L'obiettivo era quello ottenere una sintesi tra gli strumenti di progettazione architettonica all'avanguardia e le specie di bambù locali, al fine di esporre il potenziale latente del bambù come catalizzatore per lo sviluppo sostenibile e per le pratiche di costruzione sicure ad Haiti.⁴

Il primo workshop ha dato vita a una struttura in bambù, selezionata tra diversi altri progetti. Il corso, denominato piti pwojé (piccolo progetto) prevedeva la realizzazione di un padiglione o un vivaio per la riserva, che potesse dare massima libertà di progettazione ai partecipanti. Sui vari modelli sono state applicate delle simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamic) mediante il software Autodesk Flow. In questo modo è stato possibile perfezionare ogni singolo progetto per renderlo più adeguato alle condizioni climatiche. L'esito del workshop ha dato vita a una struttura, ancora presente nella riserva, che funge da copertura e padiglione temporaneo.

Durante il secondo workshop è stata progettata e realizzata un'abitazione di un piano fuori terra (nel progetto iniziale erano previsti due piani) attualmente in fase di ultimazione. L'edificio sarà uno degli alloggi da poter affittare per un soggiorno all'interno della riserva.

Per la struttura dell'appartamento è stata usata una delle tecniche più comuni in Colombia, ovvero

Fig. 3.14. Ultimazione dell'alloggio del secondo workshop.



l'immersione del pilastro in bambù all'interno di un plinto in calcestruzzo. Simón Vélez è stato uno dei pionieri di questa tecnica di costruzione. La struttura principale è stata realizzata con culmi di Guadua, mentre i tamponamenti sono composti da un intreccio di culmi splittati e un misto di terra e cemento. Per migliorare l'aderenza tra l'impasto cementizio e il bambù è stata inserita una rete metallica. Oltre alla Guadua angustifolia sono stati utilizzati Phyllostachys aurea, makinoi, Bambusa vulgaris e Bambusa lako. La copertura è curva, realizzata con un foglio di lamiera, sostenuta da una struttura in bambù. Attualmente l'edificio è in fase di costruzione ma già visitandolo si percepisce la cura con la quale è stato costruito e la stabilità che il bambù gli conferisce. Oltre a una struttura resistente, l'inerzia termica e la ventilazione naturale garantiscono un confort climatico interno ottimale.

L'esperienza alla Wynne Farm Ecological Reserve è stata la prima esperienza che mi ha fatto comprendere l'utilità e le potenzialità che il bambù, in un Paese come Haiti, è in grado di dare. I workshop realizzati sono inoltre uno stimolo necessario a promuovere l'impiego di questo materiale nell'architettura haitiana, ancora troppo restia al cambiamento.

¹ Intervista a Jane Wynne, proprietaria della Wynne Farm Ecological Reserve. 26 ottobre 2018.

² https://www.wynnefarm.org/

³ Ibid

⁴ https://www.aaschool.ac.uk/





3.5 L'ESPERIENZA DI MARMELADE/THE MARMELADE EXPERIENCE

Durante il viaggio ho visitato per due volte la cittadina di Marmelade (Mamlade, in creolo haitiano), capoluogo dell'omonimo Arrondissement, nel dipartimento dell'Artibonite. La città si trova a 759 metri s.l.m. ed è nota per essere il luogo di origine dell'ex presidente René Préval (1946-2017), la cui tomba si trova all'interno del centro di produzione agricola "Jean Léopold Dominique".

Il centro di produzione agricola "Jean Léopold Dominique" sorge appena fuori Marmelade, all'interno di un progetto più ampio promosso dalla FONDDIM (Fondation pour le Développent Integré de Marmelade) che sostiene lo sviluppo sostenibile e l'agricoltura nel Paese. Il centro agricolo è stato fondato nel 2000 proprio da René Préval, che lo dedicò all'amico Jean Léopold Dominique, giornalista e attivista che ha lottato per la giustizia sociale e per l'uguaglianza dei diritti ad Haiti. Fu assassinato il 3 aprile del 2000 per aver combattuto con forza e denunciato gli scandali della dittatura Duvalier. Il progetto è nato grazie alla collaborazione con un centro di produzione di bambù taiwanese che ha contribuito

Fig. 3.15. Tomba di René Préval all'interno del centro.



all'importazione di alcune specie di bambù, oltre alla formazione di alcuni dipendenti haitiani sui principali metodi di trattamento e sulle tecniche di costruzione.

All'interno del centro è possibile soggiornare in una struttura (Maison en bambou), realizzata con bambù locale. Oltre alla maison il centro si compone di un ufficio direzionale, uno spazio per lo stoccaggio del bambù, un centro di lavorazione del bambù, un deposito per gli oggetti finiti, un piccolo stabilimento per la macinazione di caffè, un caseificio dove si producono prevalentemente latte e yogurt, un laboratorio per la produzione di succhi di frutta provenienti dagli alberi locali, un pollaio. Il centro è a tutti gli effetti autosufficiente: si coltivano banane, ananas, chadeque, caffè, canne da zucchero e, ovviamente, bambù. La superficie si estende su oltre 10 ettari, ma al centro di questo progetto non c'è solo questo:

"uno degli obiettivi della FONDDIM è quello di riforestare l'intera area e di promuovere l'agricoltura donando piante ai contadini locali. In un certo senso l'area coltivabile si estende in tutto l'Arrondissement di Marmelade." ¹

Fig. 3.16. Vasche per trattamento a immersione.



Nel centro sono presenti diverse specie di bambù tra cui:

- Bambusa vulgaris;
- Dendrocalamus latiflorus;
- Dendrocalamus scrictus;
- Guadua angustifolia;
- Phyllostachis makinoi;

La maison en bombou è molto simile all'abitazione della Wynne Farm, ma più grande. L'edificio infatti presenta un ampio ingresso, salone, cucina, sala da pranzo, tre camere da letto e due bagni. L'intera struttura è realizzata in bambù, mentre i tamponamenti sono composti da un intreccio di culmi splittati e un impasto di terra e cemento. Anche la maggior parte degli arredi è realizzata in bambù.

Questo progetto è nato in collaborazione con un centro di produzione di bambù in Taiwan, da cui provengono molte delle specie attualmente coltivate. Anche la maggior parte dei macchinari utilizzati per i trattamenti della pianta è stata importata: grazie a questi nuovi mezzi, e alle tecniche apprese durante dei workshop in Taiwan e Cina, il bambù impiegato nella *maison* è stato lavorato all'interno del laboratorio.

Fig. 3.17. Autoclave per trattamento a pressione.



"Qui lavorano circa 45 dipendenti che si occupano di tutti i processi di lavorazione, dal taglio del culmo fino allo stoccaggio del prodotto finito. Vengono realizzati diversi trattamenti sia di tipo tradizionale che chimico: stagionatura dei culmi; utilizzo di propano, acido borico, trattamento a pressione, tagli longitudinali e trasversali, levigatura delle superfici esterne." ²

Lo stabilimento per la lavorazione del bambù è molto vasto. Esso ospita un'ampia area per lo stoccaggio delle canne tagliate e già stagionate, pronte ai vari trattamenti. Per i trattamenti a immersione sono presenti della grandi vasche all'interno delle quali viene preparata una soluzione con acido borico. Il bambù viene immerso in questa soluzione per 8-10 giorni al fine di eliminare gli zuccheri contenuti nel culmo. Un trattamento simile, mediante l'utilizzo di propano, viene impiegato per eliminare gli zuccheri e al tempo stesso gli insetti presenti nella pianta.

Il trattamento a pressione viene attuato in autoclave, in questo modo le sostanze preservanti penetrano più in profondità nella pianta e anche

Fig. 3.18. Splitter per tagli longitudinali.



più rapidamente. Sono presenti vari esempi di seghe e levigatrici per realizzare prevalentemente arredi e oggettistica. Solo in alcuni casi il bambù viene lavorato per impieghi in ambito edilizio.

- ¹ Intervista a Didier Georges, operaio del centro di produzione agricola "Jean Léopold Dominique".
- ² Intervista a Antoinier Bien Aime, operaio del centro di produzione agricola "Jean Léopold Dominique".

Fig. 3.19. Levigatrice per superfici esterne.



CAPITOLO 4

R I C E R C A T E C N O L O G I C A
T E C H N O L O G I C A L R E S E A R C H





4. 1 PREMESSE/PREMISES

Il calcestruzzo è il materiale più abbondante ad Haiti, prodotto localmente e utilizzato per la maggior parte delle abitazioni. L'acciaio, di contro, presenta costi di produzione e importazione elevati, nonché un notevole consumo di energia. Le esperienze di Haiti hanno dimostrato che, sebbene a scala locale, il bambù viene impiegato per le sue molteplici applicazioni e per il contributo in grado di dare all'ambiente e al territorio. Inoltre le proprietà fisiche e meccaniche garantiscono buone prestazioni se impiegato correttamente nelle costruzioni. Purtroppo il pensiero comune haitiano fa fatica ad accettare un materiale di origine vegetale, come possibile materiale da costruzione. Ma, in un Paese dove i materiali da costruzione convenzionali sono difficilmente reperibili, l'utilizzo di materiale locale diventa una grande risorsa.

Partendo dal modello di un edificio tipo Haitiano (un piano fuori terra, con struttura in calcestruzzo armato e tamponamenti in blocchi di calcestruzzo) è stata condotta una prima indagine sull'utilizzo del bambù come armatura per strutture in calcestruzzo. Questa tecnica si pone come alternativa alle più comuni armature metalliche che ad Haiti si rivelano spesso inaffidabili in termini di prestazioni e durabilità. Nel corso degli anni sono state effettuate diverse sperimentazioni sull'utilizzo del bambù come armatura, seppur con esiti non del tutto soddisfacenti.

Le questioni irrisolte sull'utilizzo di armature in bambù mi hanno portato ad indagare su una seconda possibile applicazione della pianta, ovvero l'utilizzo della fibra di bambù per rinforzare e alleggerire blocchi in calcestruzzo. Sulla base di ciò ho condotto la mia sperimentazione in laboratorio al fine di poter realizzare il prototipo di un nuovo blocco per il mercato haitiano. L'obiettivo è quello di verificare eventuali variazioni nella resistenza a compressione e nel peso specifico, oltre all'intenzione di limitare i costi relativi alla produzione di cemento, e dunque anche la riduzione del consumo di energia ed emissioni di CO_2 . In questo modo, in un ipotetico edificio haitiano, la struttura portante rimarrebbe in calcestruzzo armato, supponendo che questo sia realizzato correttamente e la fibra di bambù verrebbe utilizzata esclusivamente per gli elementi di tamponamento.

4.2 IL BAMBÙ COME ARMATURA/BAMBOO AS REBAR

Una delle prime testimonianze sull'utilizzo del bambù come armatura per il calcestruzzo, in alternativa alle barre metalliche, risale al 1914 quando Hou-Kun Chow, uno studente di Architettura navale e Ingegneria marina del Massachusetts Institute of Technology, testò culmi di bambù di piccolo diametro e strisce di bambù come armature. Egli mise a confronto due travi delle medesime dimensioni, una armata con bambù, l'altra con acciaio. Le fessurazioni nelle travi con armatura in bambù si verificarono con carichi molto inferiori rispetto a quelle con armature metalliche.¹

Negli anni '30 Otto Graf, professore alla Technische Hochschule di Stoccarda, e uno dei suoi allievi, Kramadiswar Datta, condussero altre ricerche sulla possibile applicazione del bambù come armatura per il calcestruzzo. Tra le varie soluzioni, essi proposero un'alternativa che integrasse il bambù, come rinforzo longitudinale, e l'acciaio per la realizzazione delle staffe.²

Nel 1950 il professor H. E. Glenn pubblicò quella che ad oggi è una delle più estese ricerche sul bambù come armatura per il calcestruzzo. Svolse le sue ricerche al Clemson Agricultural College nel South Carolina, e furono finanziate dal War Production Board. Le conclusioni di Glenn si possono così riassumere:

- il carico necessario a causare il cedimento di una struttura armata con bambù è circa 4 volte superiore a una struttura non armata;
- la capacità di carico di elementi in calcestruzzo armati con bambù aumenta con l'aumentare della percentuale di bambù, fino a un valore ottimale del 4% della sezione;
- il rigonfiamento del bambù, che causa

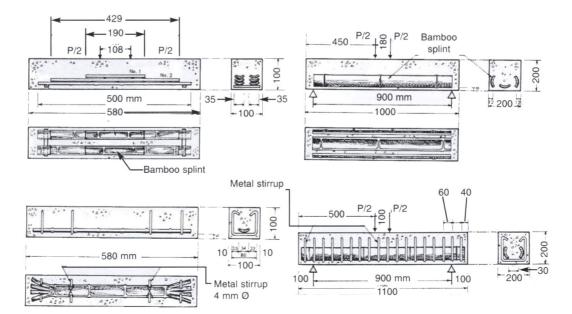


Fig. 4.1. Esempi di travi rinforzate in bambù, testate da Graf e Datta nel 1935.

fessurazioni sulla superficie del calcestruzzo, può essere attenuato con l'utilizzo di calcestruzzo ad alta resistenza meccanica (HES);

- le capacità di carico di elementi rinforzati con bambù variano a seconda delle dimensioni degli elementi;
- gli elementi con una percentuale ottimale di bambù hanno una resistenza a trazione fino a circa 70 MPa;
- gli elementi rinforzati con bambù splittato presentano proprietà meccaniche superiori ai medesimi elementi rinforzati con culmi interi;
- aumentando le proprietà meccaniche del calcestruzzo, aumenta la resistenza della struttura armata con bambù;
- le capacità di carico delle strutture armate con bambù aumentano se si utilizza bambù splittato come rinforzo nella direzione in cui il taglio è maggiore;

Un altro studio sulla fattibilità dell'uso del bambù come armatura per elementi prefabbricati in calcestruzzo fu condotto presso la U.S. Waterways Experiment Station nel 1964, sede del laboratorio ERDC (Engineer Research and Development Center).³ In generale risultò fattibile l'utilizzo

di bambù come armatura ma con i seguenti problemi:

- il modulo di elasticità del bambù è circa dieci volte inferiore a quello dell'acciaio;
- come tutte le fibre naturali, il bambù presenta fenomeni di degrado dovuti all'attacco di funghi e insetti, ha una scarsa durabilità in ambienti alcalini e presenta proprietà meccaniche variabili;
- la differenza tra i coefficienti di dilatazione termica del bambù e del calcestruzzo contribuisce alla fessurazione dell'elemento strutturale, soprattutto se soggetto a variazioni climatiche;
- il rigonfiamento del bambù, in seguito all'assorbimento dell'acqua contenuta nella miscela cementizia, causa un aumento di volume e di conseguenza fessure sulla superficie del calcestruzzo. Quest'ultimo, perdendo il suo contenuto d'acqua, si ritira diminuendo il suo volume e accelerando il degrado.

Per ovviare a questi problemi sono stati sperimentati diversi trattamenti prima di utilizzare il bambù all'interno della matrice cementizia: applicare uno strato di emulsione di asfalto sul

Fig. 4.2. Fasi della lavorazione per il Press Box Building a Clemson, Carolina del Sud.



culmo; immergere il bambù in una soluzione di cloruro di zinco al 2%; applicare un adesivo di neoprene con sabbia; applicare resine epossidiche o polvere di silice; trattare il bambù con zolfo. Molti di questi trattamenti sono dispendiosi e scoraggiano l'impiego di bambù, non tenendo conto che l'utilizzo del bambù come armatura per il calcestruzzo potrebbe essere vantaggioso per comunità povere, dove la reperibilità di armature metalliche è scarsa. L'utilizzo di bambù non trattato è assolutamente sconsigliato per i motivi precedentemente elencati.

Nel 1950 il professor Glenn pubblicò altre raccomandazioni per l'utilizzo di armature in bambù:⁴

- per le parti strutturali principali, l'uso di culmi interi di bambù verde, non stagionato, non è raccomandato. Per lastre in calcestruzzo e per le strutture secondarie, i culmi interi non stagionati possono essere utilizzati con successo quando i diametri dei culmi non superano i 2 cm. Il bambù usato come armatura nel calcestruzzo dovrebbe essere tagliato e lasciato asciugare e stagionare da tre settimane a un mese prima dell'uso;
- l'uso di culmi di bambù tagliati in primavera

- o all'inizio della stagione estiva non è raccomandato. Un'evidente colorazione marrone assicura che il culmo abbia almeno tre anni, ovvero un'età sufficiente per il taglio;
- quando si utilizzano culmi interi di bambù, in strutture principali soggette a flessione, è raccomandato l'utilizzo di impermeabilizzanti;
- la corretta spaziatura dell'armatura in bambù è molto importante. I test indicano che quando le armature longitudinali sono troppo vicine, la resistenza a flessione viene influenzata negativamente. In molti dei campioni soggetti a flessione, la causa del collasso è stata attribuita al taglio orizzontale; tuttavia, nella maggior parte dei casi in cui il collasso era dovuto a questa causa, nel cemento erano presenti crepe orizzontali dovute all'azione di rigonfiamento del bambù;
- l'alternanza delle estremità distali dei culmi, ovvero il disallineamento dei diaframmi, assicura una sezione trasversale abbastanza uniforme per tutta la lunghezza dell'elemento. Inoltre aumenta in modo significativo l'aderenza tra il calcestruzzo e il bambù;
- in tutti gli elementi armati con bambù si verifica un'elevata inflessione prima del cedimento. Il

Fig. 4.3. Esempi di degrado negli stabilimenti militari in Vietnam.



limite per lo sforzo di tensione ammissibile è di 27,5 MPa e la deformazione flessionale non deve superare 1/360 della lunghezza dell'elemento;

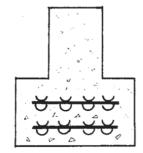
 per il dimensionamento degli elementi armati in bambù si consiglia di utilizzare lo stesso procedimento degli elementi armati in acciaio.

Le conclusioni della ricerca hanno messo in evidenza alcuni aspetti da approfondire per gli esperimenti futuri: utilizzare specie di bambù con modulo elastico superiore; utilizzare bambù non stagionato, il cui indurimento verrà completato una volta immerso nel calcestruzzo; porre una maggiore attenzione sulle tensioni di aderenza tra calcestruzzo e bambù; sperimentare nuovi materiali impermeabili da applicare sul rinforzo in bambù.

Altre sperimentazioni, antecedenti a quanto detto nelle pagine precedenti, erano state effettuate durante la seconda guerra mondiale e la guerra del Vietnam, dagli eserciti di Stati Uniti e Giappone. Alcuni degli stabilimenti militari delle due forze armate sono stati realizzati con calcestruzzo armato con culmi di piccolo diametro e strisce di bambù. Gli esiti hanno dimostrato che la durabilità del manufatto è molto ridotta, soggetta

Fig. 4.4. Sezione trasversale di una trave in calcestruzzo armata con bambù, disegnata da Geymayer e Cox.

3333



a fenomeni di degrado strutturale e pertanto il suo utilizzo è stato sconsigliato.

Nel 1970 Helmut Geymayer, professore di ingegneria civile alla Technische Hochschule Graz, insieme a Frank Cox, ingegnere alla Concrete Division della U.S. Waterways Experiment Station, realizzò una struttura in calcestruzzo armata con una specie di bambù molto presente in Mississippi, l'Arundinaria tecta. Il bambù presente nella struttura aveva un valore ottimale compreso tra il 3 e il 4% e i culmi splittati erano stati rivestiti con una resina epossidica. La struttura aveva raggiunto una resistenza a flessione circa quattro volte superiore rispetto alla medesima struttura non armata. Geymayer e Cox si basarono sull'idea che uno spesso e denso strato di calcestruzzo sarebbe stato in grado di proteggere il bambù dall'ambiente esterno e inoltre mantenere l'umidità superiore all'80% avrebbe limitato le fessurazioni. Tuttavia constatarono che la differenza del coefficiente di dilatazione termica aveva impatti irrimediabilmente negativi sulla struttura e non fu possibile limitare le fessurazioni.⁵ Pertanto lo studio ha messo in evidenza l'impossibilità di un'ampia applicazione del bambù come armatura.

Nel 1974, Oscar Hidalgo López ha fondato

il CIBAM (Centro de Investigación de Bambú y Madera) e nella Universidad Nacional de Colombia ha condotto nuove ricerche sull'utilizzo del bambù come armatura.

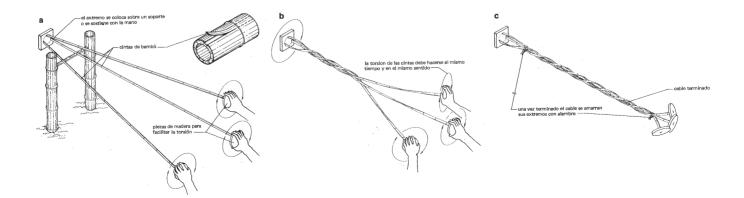
Per aumentare l'aderenza tra bambù e calcestruzzo, López ha proposto una tecnica che consiste nella realizzazione di cavi intrecciati di strisce bambù di piccolo diametro. Questa tecnica è stata poi applicata in alcuni suoi progetti a Guayaquil, in Ecuador.

Per la realizzazione dei cavi è necessario un culmo di due anni di età. Da esso vengono tagliate delle strisce che hanno una larghezza di 2 cm e uno spessore di 3 mm. Le strisce sono ricavate dallo strato più resistente della pianta, quello più esterno, che raggiunge valori di resistenza a trazione circa tre volte superiori della parte più interna.6 Misurando la resistenza a trazione dello strato più esterno, di quello intermedio e di quello interno, i risultati medi sono stati rispettivamente: 1175 kg/ cm², 706 kg/cm² e 2052 kg/cm². Per ogni cavo sono necessarie 3 o più strisce intrecciate fra loro mediante torsione e con l'aiuto di un pezzo di legno. Il numero di intrecci non deve superare i tre per metro lineare. L'aderenza tra il bambù e il calcestruzzo aumenta sensibilmente grazie alla

forma elicoidale dei cavi.

Dagli studi di López, Geymayer e Cox derivano gli esperimenti del professore David Cook, ingegnere civile alla University of New South Wales, che ha collaborato con l'Asian Institute of Technology, in Tailandia, per l'applicazione del bambù come armatura per colonne in calcestruzzo. L'indagine, svolta nel 1978, ha dimostrato un aumento della resistenza fino a tre volte rispetto alla medesima sezione in calcestruzzo non armato. Sebbene il confronto con una medesima sezione con armatura in acciaio risulti a sfavore del bambù, lo studio era finalizzato a strutture low-cost e ha dimostrato che il costo del calcestruzzo armato con bambù è minore di quello armato con accigio del 49%, considerando i prezzi del mercato locale.⁷ Una ricerca più approfondita è stata condotta nel 1988 dai professori Joshua Ayarkwa Kankam e Mike Ben George dell'Università della Scienza e della Tecnologia (UST) di Kumasi, insieme al professor Simon Herbert Perry del Trinity College di Dublino. Per questo studio è stata utilizzata la specie Oxytenanthera abyssinica, la più comune in Africa, per sostituire l'acciaio come elemento di rinforzo longitudinale e verticale (staffe). Una serie di travi in calcestruzzo, con lunghezze

Fig. 4.5. Realizzazione di cavi con strisce di bambù.



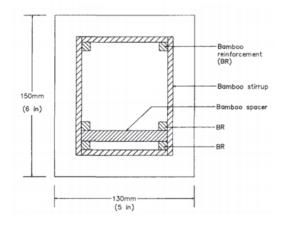
variabili da 1,8 a 3 metri, è stata armata e testata fino a rottura. Sono stati utilizzati culmi splittati rivestiti con vernice bituminosa e sabbia e culmi splittati allo stato naturale: i culmi rivestiti hanno mostrato una migliore aderenza al calcestruzzo, rispetto a quelli non trattati. Le staffe sono state realizzate con 4 strisce di bambù (due verticali e due orizzontali) tenute insieme con fili di rame. L'uso di staffe in bambù aumenta la rigidezza e la resistenza a flessione di circa il 30% rispetto a elementi senza staffe.8

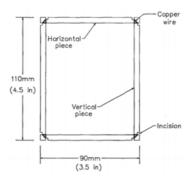
Nel 1995 il professor Khosrow Ghavami, presso il Dipartimento di Ingegneria civile della Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, ha usato il *Dendrocalamus giganteus* per armare delle travi in calcestruzzo lunghe 3,4 m. L'armatura in bambù è stata rivestita da un film idrorepellente e sabbia e avvolta da un filo di 1,5 mm di diametro. Il rivestimento ha migliorato l'adesione con il calcestruzzo fino al 90% rispetto a un bambù non trattato. La resistenza finale della trave armata con bambù è stata 4 volte superiore rispetto alla medesima trave non armata.9

Nel 2005 lo stesso Ghavami ha effettuato nuovi test trattando il bambù con un adesivo strutturale a base di resina epossidica. Questo trattamento ha migliorato ulteriormente l'adesione tra i due materiali. Inoltre le colonne armate con bambù hanno mostrato resistenze a compressione comparabili alle medesime colonne armate con acciaio, evidenziando danni solo alle due estremità. 10 Le conclusioni del professor Ghavami hanno nuovamente dimostrato che l'utilizzo del bambù come armatura per strutture in calcestruzzo sia possibile, sebbene ci siano ancora delle questioni da risolvere in termini di aderenza tra i due materiali, resistenza a taglio del bambù, differenti coefficienti di dilatazione termica e durabilità

Nel corso degli anni sono stati testati nuovi rivestimenti per migliorare l'aderenza tra bambù e calcestruzzo: termoindurenti a base epossidica, adesivi a base acrilica, adesivi a base di poliuretano. Inoltre è stata dimostrata, all'Indian Institute of Technology, la capacità di strutture armate con bambù di assorbire una quantità di energia maggiore rispetto alle strutture armate in acciaio. Questo studio rivela dunque l'utilità dell'armatura in bambù in aree soggette a terremoti.¹¹

Fig. 4.6. Sezioni trasversali di travi rinforzate con bambù.





Note:

- ¹ Alireza, Javadian. Tesi di dottorato: "Composite Bamboo and its Application as Reinforcement in Structural Concrete." ETH Zurich. 2017.
- 2 López, Oscar Hidalgo. Bamboo: The Gift of the Gods. The Author, 2003.
- ³ Brink, F.E., Rush, P.J. *Bamboo* reinforced concrete construction. U.S. Naval civil engineering laboratory, California. 1966.
- ⁴ Glenn H.E. Bamboo reinforcement in Portland cement concrete. Engineering Experiment Station, Clemson Agricultural College, Clemson, South Carolina, Bulletin No. 4, May 1950.
- ⁵ Geymayer, H.G., Cox, F.B. Bamboo reinforced concrete. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 1970.
- ⁶ López, Oscar Hidalgo. *Manual de costrucción con bamb*ù. Universidad Nacional de Colombia - CIBAM. 1981.
- ⁷ Cook, D., Pama, R., Singh, R. The behaviour of bambooreinforced concrete columns subjected to eccentric loads.
- "Magazine of concrete Research." 1978.
- ⁸ Kankam, J., Ben George, M., Perry, S. Bamboo-reinforced concrete beams subjected to third-point loading. "Structural Journal." 1988.
- ⁹ Alireza, J, op. cit.
- ¹⁰ Ghavami, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Department of Civil Engineering, Pontificia Universidade Catolica, Rio de Janeiro. 2004.
- 11 Alireza, J, op. cit.

4.3 I LIMITI DEL BAMBÙ COME ARMATURA/THE LIMITS OF BAMBOO AS REBAR

Le ricerche dimostrano la fattibilità teorica dell'utilizzo del bambù come armatura per i seguenti motivi:

- le caratteristiche meccaniche del bambù forniscono buone prestazioni sia a trazione che a flessione;
- l'impiego del bambù contribuisce a contenere i costi di costruzione dovuti all'importazione e alla produzione di armature metalliche;
- limitando l'importazione di armature metalliche si riducono le emissioni in fase di trasporto;
- il bambù è una risorsa rinnovabile con un alto tasso di crescita (in Paesi con climi tropicali e sub tropicali).

Fattibilità però non è sinonimo di affidabilità. Bisogna anche valutare i rischi e contestualizzare questa tecnologia in un territorio come quello di Haiti.

La sostituzione di armature metalliche con culmi di bambù, culmi splittati o strisce di bambù, pone delle questioni irrisolte che rappresentano dei arandi limiti:

- l'aderenza tra i due materiali non è ottimale e favorisce fenomeni di degrado;
- la differenza tra il coefficiente di dilatazione termica dei due materiali causa fenomeni di ritiro e rigonfiamento che causano fessurazioni nel calcestruzzo;
- il trattamento necessario a limitare i fenomeni di degrado è costoso e non garantisce risultati soddisfacenti, in termini di aderenza e durabilità.

Inoltre le condizioni climatiche di Haiti, con i frequenti terremoti, rappresentano un limite aggiuntivo all'utilizzo di una tecnologia con dati ancora oggi incerti. Gli aspetti positivi sono infatti di natura ambientale ed economica, vista la disponibilità della pianta. Tuttavia questa non è una motivazione sufficiente a promuovere l'utilizzo di armature in bambù.

I dati più significativi, che incentivano l'utilizzo del bambù se paragonato all'acciaio, sono quelli relativi all'Embodied Energy e alla Carbon Footprint. Per quanto riguarda l'acciaio, l'Embodied Energy assume valori compresi tra i 29 e i 35 MJ/kg; per il bambù i valori sono compresi tra i 4 e i 6 MJ/kg.¹ L'Embodied Energy comprende tutti i consumi di energia relativi all'intero ciclo di vita di un determinato prodotto. Le emissioni di gas serra associate alla produzione di acciaio si attestano tra i 2,2 e i 2,8 kg CO₂/kg; quelle associate al bambù sono circa 0,25 kg CO₂/kg.² L'unità di misura è la CO₂ equivalente, ovvero l'impatto di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di CO₂.

Come già detto, uno dei principali difetti dell'applicazione del bambù come armatura nel calcestruzzo riguarda l'aderenza tra i due materiali in questione. Alla base di una buona riuscita del calcestruzzo armato vi è la buona aderenza che si sviluppa tra una barra di acciaio e il calcestruzzo in cui essa è immersa.

Per verificare che vi sia un buon legame di aderenza tra i due materiali bisogna applicare una forza di trazione per estrarre la barra incorporata nel getto; se l'estrazione termina con lo snervamento della barra, senza che lo sfilamento si sia verificato, la lunghezza di ancoraggio e il legame di aderenza sono sufficienti.

Le cause della buona aderenza tra calcestruzzo e acciaio sono: le nervature presenti sulla superficie della barra, le forze di adesione intermolecolari tra acciaio e calcestruzzo e le forze di attrito sviluppate dal calcestruzzo per effetto del ritiro. L'insieme di questi elementi, unitamente all'applicazione di una forza di trazione, causa delle tensioni interne, definite come tensioni di aderenza (τ_{ad}). Supponendo che la forza di trazione (F) sia pari al prodotto della tensione di aderenza (τ_{ad}) per il perimetro della barra (p):

$$F = \tau_{ad} * p$$
,

con:

$$p = \pi * d * I_{anc}$$
 $F = \pi * d^2 * \sigma_s / 4$

la tensione di aderenza (considerando una tensione di snervamento $\sigma_s = 450 \text{ N/mm}^2$) sarà:

$$\tau_{ad} = d * \sigma_s /4 * l_{anc}$$

In questo modo è possibile conoscere, oltre alle tensioni di aderenza, anche la lunghezza minima di ancoraggio (l_{anc}) necessaria affinché il tondino non si sfili. Per lunghezze di ancoraggio insufficienti e tensioni di aderenza non ottimali si verifica il cosiddetto "bond slip", ovvero lo scorrimento della barra all'interno del getto. Nel caso in cui la lunghezza di ancoraggio non fosse nota, le NTC 2008 mostrano il calcolo per le tensioni di aderenza:

$$\tau_{_{\text{ad}}} = 2,25 \, * \, f_{_{\text{ctk}}} / \, \gamma_{_{\text{c}}}$$

 $\mathbf{f}_{ctk} = resistenza$ a compressione caratteristica del calcestruzzo

$$\gamma_c$$
 = coefficiente di sicurezza = 1,5

In Italia questi valori sono definiti dalle NTC 2008; il "beam test", usato per il controllo dell'indice di aderenza, viene descritto dalla CNR-UNI 10020. Per armature in acciaio B450C le tensioni di aderenza variano da 2,32 a 3,99 MPa (NTC 2008). Per alcune specie di bambù σ_s può raggiungere i 265 MPa, anche se in media si attesta intorno a 143 MPa.³ Le tensioni di aderenza che il bambù non trattato sviluppa nella matrice cementizia sono comprese tra 0,3 e 0,7 MPa.⁴ Questa carenza di aderenza tra bambù e calcestruzzo causa un movimento del bambù all'interno del getto non indifferente.

I molteplici tentativi realizzati al fine di migliorare la durabilità del calcestruzzo con armatura in bambù consistono in trattamenti costosi che spesso compromettono la logica ambientale dell'impiego del bambù in architettura.

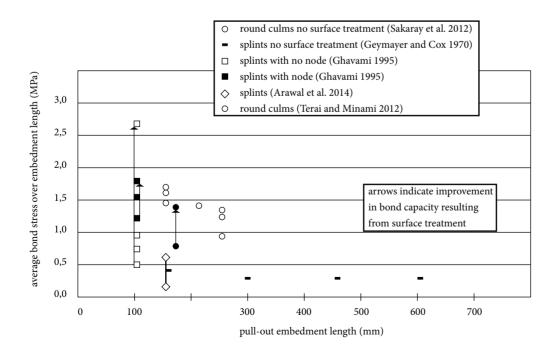
Ad ogni modo, gli sforzi effettuati hanno portato

a un miglioramento dell'aderenza tra bambù e calcestruzzo fino al 430%, da una forza di aderenza di 0,52 MPa a 2,75 MPa (Ghavami 1995).

Un altro fattore che influenza il legame tra acciaio e calcestruzzo è il coefficiente di dilatazione termica. Esso infatti è simile tra i due materiali e si attesta tra i 10 e i 12 (10-6 m/°C).⁵ Questa casuale vicinanza dei due coefficienti permette ai materiali di assecondare le variazioni di volume che subiscono al variare della temperatura.

Il coefficiente di dilatazione termica del bambù varia a seconda della specie e della direzione: lungo le fibre si attesta intorno ai 2,5 e 10 (10-6 m/°C), perpendicolarmente alle fibre aumenta di circa un ordine di grandezza. Una sostanziale differenza tra il coefficiente di dilatazione termica tra il bambù e il calcestruzzo causa scorrimenti all'interno del getto (durante la fase di ritiro) e

Fig. 4.7. Variazione delle forze di aderenza in seguito a trattamenti superficiali.



fessurazioni lungo la superficie del calcestruzzo (durante la fase di rigonfiamento).

Il rivestimento del bambù con materiali impermeabili potrebbe impedire i fenomeni di ritiro e rigonfiamento, limitando l'assorbimento dell'acqua contenuta nella pasta cementizia. Tuttavia l'impermeabilizzante causerebbe una perdita di aderenza tra i due materiali. Inoltre l'utilizzo di rivestimenti sintetici non verrà trattato in questa tesi poiché avulso dalle condizioni in cui versa il Paese e la convenienza economico-ambientale del bambù passerebbe in secondo piano perdendo così di significato.

Note:

- ¹ Archila, H., Kaminski, S. et al. Bamboo reinforced concrete: a critical review. "Materials and Structures." Agosto 2018.
- ² Archila, H. et al, op. cit.
- ³ López, op. cit.
- ⁴ Ghavami, op. cit.
- ⁵ Archila, H. et al, op. cit.
- ⁶ Archila, H. et al, op. cit.

Fig. 4.8. Test di estrazione su bambù trattato (a sinistra) e naturale (a destra).

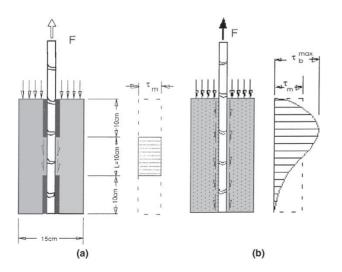
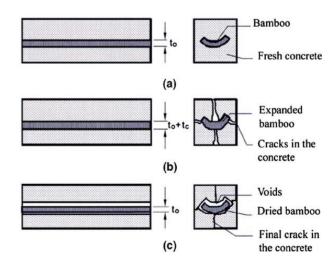


Fig. 4.9. Comportamento del bambù all'interno del calcestruzzo.



BLOCCHI IN CALCESTRUZZO CON FIBRA DI BAMBÙ/ BAMBOO FIBER REINFORCED CONCRETE BLOCKS

Più del 60% delle abitazioni haitiane sono realizzate con blocchi in calcestruzzo (CMU: Concrete Masonry Unit). La produzione di blocchi avviene, come abbiamo precedentemente visto, per le strade, in cantieri abusivi o all'interno di piccole imprese edili. Si producono blocchi di diverse forme e dimensioni, con due, tre o quattro fori secondo quanto scritto nel CNBH che, nell'articolo 1.6.2.1, descrive così le dimensioni dei blocchi in calcestruzzo:

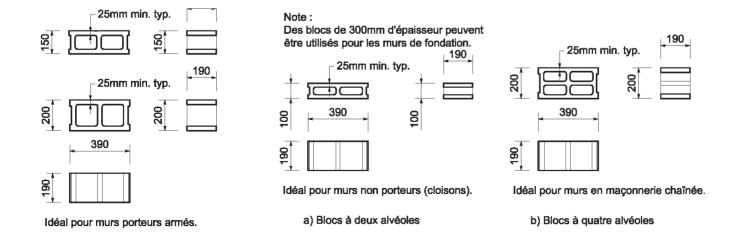
"i blocchi di calcestruzzo standard devono preferibilmente avere due alveoli, avere una lunghezza di 390 mm, un'altezza di 190 mm, una profondità di 100, 150, 200 o 300 mm ed uno spessore minimo di 25 mm. I blocchi con tre alveoli possono anche essere impiegati, ma sono meno efficaci per la costruzione di muri armati, a causa della dimensione ridotta

degli alveoli. I blocchi di calcestruzzo da 200 mm con una membrana centrale in senso longitudinale e, di conseguenza, un numero due volte più elevato di alveoli possiedono una migliore resistenza strutturale quando sono utilizzati in murature portanti incatenate."

L'idea di condurre una seconda ricerca, che coinvolgesse la produzione di blocchi forati in calcestruzzo, rappresenta una proposta più concreta e più facilmente replicabile ad Haiti, dal punto di vista pratico e culturale. Pertanto, rimanendo il più fedele possibile ad un blocco standard haitiano, ho ipotizzato una miscela cementizia con aggiunta di bambù in fibra.

È molto frequente in architettura, così come in altri settori, l'utilizzo di materiali fibrorinforzati costituiti da una matrice, organica o inorganica, rinforzati da fibre continue con elevate proprietà meccaniche.

Fig. 4.10. Blocchi in calcestruzzo standard (CNBH).

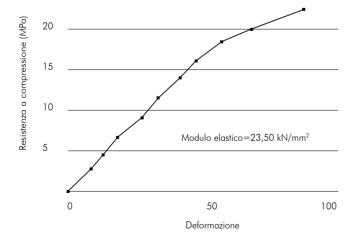


Essi si dividono in materiali fibrorinfarzati a matrice polimerica (Fiber Reinforced Polymers o FRP) e materiali fibrorinforzati a matrice cementizia (Fiber Reinforced Cementitious Matrix o FRCM). Negli FRP solitamente si utilizzano resine epossidiche, poliestere o poliuretano, come matrice; le fibre più impiegate sono carbonio, vetro e aramide (kevlar). Negli FRCM la matrice, a base di cemento o calce, ingloba fibre metalliche o di carbonio, in alcuni casi vetro o basalto.

Le fibre più impiegate in commercio sono sintetiche e non degradabili, con alti costi di produzione e consumi di energia notevoli. Le fibre naturali sono al contrario più economiche e meno energivore: sono principalmente composte da cellulosa, emicellulosa, lignina e pectina; esse sono molto resistenti, flessibili sebbene risentano maggiormente dell'attacco di funghi e insetti; sono anche poco resistenti al fuoco.

La fibra di bambù possiede diverse proprietà, è paragonabile alla fibra di canapa o di cotone con le quali si realizzano tessuti leggeri e traspiranti. Trova infatti impiego nel settore tessile ed è utilizzata per abbigliamento di vario tipo, tessuti

Fig. 4.11. Resistenza a compressione di blocchi pieni in calcestruzzo.

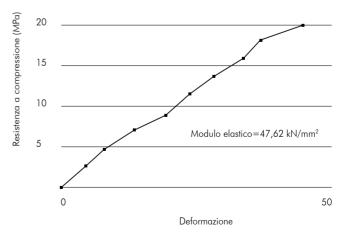


per la casa, materassi, cuscini e guanciali che risultano più morbidi e adatti alle linee del corpo. Nel settore alimentare viene spesso utilizzata come integratore in polvere.

Di rado si utilizza la fibra di bambù in architettura, siamo più soliti vedere culmi di bambù interi o splittati. L'estrazione delle fibre può avvenire, senza l'utilizzo di prodotti chimici, nei seguenti modi: riscaldamento o esplosione a vapore, macerazione, frantumazione, macinazione e laminazione in mulino. Altri trattamenti, con aggiunta di prodotti chimici, rendono più semplice il processo di estrazione delle fibre e mantengono più intatta la fibra. Tra questi trattamenti vi sono: macerazione alcalina o acida, degommaggio o demucillaginazione, per ridurre o rimuovere il contenuto di lignina.¹

Uno studio presentato alla International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET 2014) condotto da Shakeel Ahmad, Altamash Raza, e Hina Gupta, ha dimostrato un miglioramento delle prestazioni del calcestruzzo con l'aggiunta di fibra di bambù.² Per la sperimentazione sono stati realizzati dei

Fig. 4.12. Resistenza a compressione di blocchi con fibra di bambù.



provini cubici in calcestruzzo, con l'1% di fibra di bambù. Dopo 28 giorni di stagionatura, i cubi sono stati testati a compressione e i risultati hanno dimostrato una leggera variazione della resistenza a compressione. Il modulo di elasticità è aumentato da 23,3 kN/mm² a 47,62 kN/mm² (fig. 4.11 e 4.12).

Un altro studio (pubblicato dall'International Journal of Engineering Development and Research) condotto da M. Bindu, B.K.. Narendra, J.K. Manjunatha presso il dipartimento di Ingegneria Civile di Nagar, India, ha utilizzato fibra di bambù, dalla specie *Dendrocalamus scrictus*. Sono stati realizzati campioni di fibra con lunghezze diverse: 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, e 90 mm. Le fibre sono state rivestite con una soluzione anti termiti. La percentuale di fibra di bambù aggiunta alla miscela cementizia è stata dell'1%, rispetto al peso del cemento. La fibra è stata aggiunta a secco al cemento e agli aggregati e mescolata per circa un minuto, in seguito è stata aggiunta l'acqua (70%) e un superfluidificante (30%).

Sono stati realizzati provini in calcestruzzo con l'aggiunta di fibra di bambù e stagionati per

Fig. 4.13. Risultati dei test dopo 28 giorni di stagionatura.

Aspect ratio	Compressive strength (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Flexural strength (Mpa)	Shear (Mpa)
0	29,72	2,54	9,25	4,05
20	32,46	2,81	12,23	5,71
30	36,13	3,05	13,55	6,07
40	39,76	3,17	14,03	6,85
50	40,09	3,48	14,56	7,01
60	42,07	3,55	14,89	7,89
70	44,13	3,84	15,56	9,16
80	43,50	3,65	16,97	8,76
90	35,84	2,89	13,97	7,87

28 giorni. I test hanno dimostrato che le fibre di lunghezza compresa tra i 70 e gli 80 mm producono i risultati migliori in termini di resistenza a compressione (fig. 13).³

Le conclusioni dello studio affermano che l'utilizzo delle fibre riduce la fessurazione negli elementi in calcestruzzo poiché le fibre fungono da barriera alla propagazione delle fessure; da una lunghezza delle fibre pari a 30 mm, fino agli 80 mm, le caratteristiche del calcestruzzo aumentano sensibilmente; aumentando la lunghezza delle fibre diminuisce la lavorabilità del calcestruzzo, pertanto è stato utilizzato un superfluidificante.

Nel 2017 F.O. Kolawole, O.M. Olugbemi, S.K. Kolawole, A.F. Owa, E.S. Ajayi, della Federal University Oye-Ekiti, Nigeria, hanno testato dei blocchi in laterite e cemento rinforzati con fibra di bambù. Sono state utilizzate diverse percentuali di fibra di bambù in provini cubici da 100 mm, testati a compressione, e in provini rettangolari 600x100x100 mm, testati a flessione. Il mix scelto per i provini era composto dall'80% di laterite e dal 20% di cemento, con aggiunta di fibra di bambù dal 5 al 25%. Il tempo di stagionatura è

Fig. 4.14. Mix design (laterite, cemento e fibra di bambù).

Sample	Latente (% Weight)	Cement (% weight)
I	80	20

Samples Laterite + Cement (% weight)		Bamboo Fiber (% weight)	
I	95	5	
П	90	10	
ш	85	15	
IV	80	20	
v	75	25	

stato di 14 giorni.

I risultati dei test a compressione mostrano un aumento significativo della resistenza dei blocchi (da circa 2 MPa a 5 MPa), nei blocchi con una percentuale del 25% di fibra. Anche nei test a flessione è stato riscontrato un aumento delle caratteristiche meccaniche considerevole: da circa 0.9 MPa a 2.25 MPa nei provini con il 25% di fibra. Questo miglioramento delle prestazioni meccaniche è dovuto alla capacità delle fibre di impedire la propagazione delle fessure e di conseguenza il collasso dell'elemento stesso. Per questo motivo è stato rilevato anche un miglioramento della tenacità, ovvero la resistenza alla frattura.⁴

Un altro studio, condotto nel Dipartimento di Ingegneria Civile della Brawijaya University, in Indonesia, ha dimostrato come l'utilizzo di fibra di bambù può ridurre le fratture in elementi strutturali. Per il test è stata ipotizzata una trave da 150x200x1600 mm, rinforzata con diverse percentuali di fibra di bambù (proveniente da una specie comunemente nota come *Ori bamboo*) di lunghezza variabile, verniciata e ricoperta di

a flessione e i risultati hanno dimostrato che: le travi rinforzate con 40 g di fibra di bambù hanno resistito a un carico massimo di 24 kN, con uno spostamento, freccia, di 17,7 mm; le travi rinforzate con 150 g di fibra di bambù hanno resistito a un carico massimo di 21 kN, con uno spostamento di 27,1 mm. Pertanto è stato affermato che il quantitativo ottimale di fibra di bambù è di 40 g, oltre questa soglia le caratteristiche meccaniche dell'elemento diminuiscono. Inoltre le travi addizionate con fibra nei due dosaggi sono state comparate con una trave delle medesime dimensioni, priva di fibra di bambù, che si è fessurata con carichi inferiori, mostrando crepe di dimensioni maggiori.⁵

sabbia. Il contenuto di fibra di bambù nei provini era di 40 g e 150 g. I provini sono stati sottoposti

Fig. 4.15. Resistenza a compressione al variare della fibra di bambù.

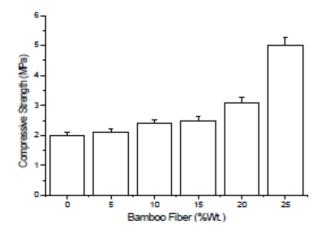
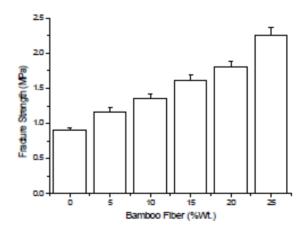


Fig. 4.16. Resistenza a flessione al variare della fibra di bambù.



Nel 2018 Cassiano Rodrigues Moura, dell'Istituto Federal de Santa Caterina (IFSC), Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina e Adalberto José Tavares Vieira, dell'Universidade do Estado de Santa Caterina (UDESC), in Brasile, hanno condotto una sperimentazione su elementi in calcestruzzo rinforzati con fibra di bambù. Per lo studio è stato utilizzato del bambù appartenente alla specie Bambusa vulgaris, trattato con idrossido di sodio (NaOH) per l'ottenimento delle fibre.

Sono stati realizzati quattro provini da 550x100x100 mm: il primo senza alcun tipo di rinforzo; il secondo armato con una barra metallica dal diametro di 6,3 mm; il terzo armato con due strisce di bambù 7x15 mm ognuna; il

Fig. 4.17. Curve di resistenza dei provini con 40 g di fibra.

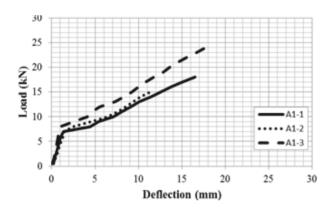
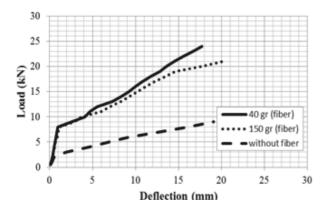


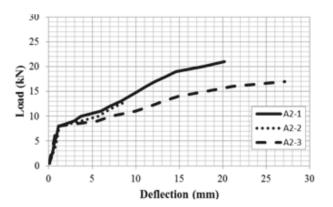
Fig. 4.19. Relazione delle curve di resistenza al variare della fibra.



quarto armato con un trefolo di fibra di bambù di 12 mm di diametro, tenuto insieme da un filo di nylon da 0,2 mm.

Dopo una stagionatura di 28 giorni, i provini sono stati testati a flessione e a trazione. Il primo test ha dimostrato che il campione con la fibra di bambù ha sopportato un carico di 13,49 kN, prima del collasso; il campione con l'armatura metallica è arrivato alla rottura con un carico di circa 10 kN; il campione privo di alcun rinforzo ha sopportato il carico minore.6

Fig. 4.18. Curve di resistenza dei provini con 150 g di fibra.



Note:

- ¹ Zakikhani, Zahari et al. "Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites." Materials and Design 63 (2014) 820–828.
- ² Dr. Shakeel Ahmad, Altamash Raza, and Hina Gupta. "Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Concrete." ICRSET 2014.
- ³ Bindu M., Narendra B.K., Manjunatha J.K. "A Study on Characteristic Strength of Bamboo Fiber Reinforced Concrete". 2016 IJEDR | Volume 4, Issue 2. International Journal of Engineering Development and Research.
- ⁴ Kolawole, F.O., Olugbemi, O.M. et al. Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material. Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. 2017.
- ⁵ Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya, and Christin Remayanti N.
- "The use of bamboo fiber in reinforced concrete beam to reduce crack". AIP Conference Proceedings, 2017.
- ⁶ Moura, C.R., Dalla Valentina, L.V.O., Vieira, A.J.T. Evaluation of concrete blocks reinforced with bamboo fibers trated with NaOH. Revista Gestão Industrial, 2018.

Fig. 4.20. Sezioni trasversali e relativi rinforzi.

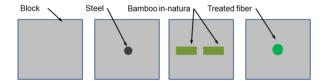
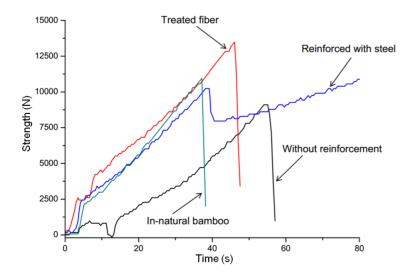


Fig. 4.21. Resistenza a flessione dei diversi elementi.



CAPITOLO 5

SPERIMENTAZIONE

EXPERIMENTATION





5.1 ESTRAZIONE DELLA FIBRA DI BAMBÙ/FIBER BAMBOO EXTRACTION

Per la realizzazione dei blocchi con fibra di bambù, è stata utilizzata la specie *Phyllostachis* bambusoides, un bambù orientale, originario della Cina. La sua crescita è monopodiale e, in condizioni climatiche ottimali, può raggiungere i 15 metri d'altezza e un diametro di 15 cm.

Il bambù mi è stato gentilmente fornito da Alberto Peyron, dell'azienda Purpurea di Peyron & Co. (Piobesi Torinese, TO). Il bambù al momento del taglio aveva un'età di due anni ed era stato precedentemente trattato con sali di boro, per immersione, per prevenire fenomeni di degrado

Fig. 5.1. Caratteristiche del bambù.

Bambù	Descrizione	cm
Specie	Phyllostachis bambusoides	
Età	2 anni	
Lunghezza		20-40
Larghezza		2-3,5
Spessore parete		0,4-0,7

Fig. 5.2. Davide Damigella durante lo splittagio del bambù.



biologico. Lo splittaggio, avvenuto nell'azienda Purpurea, è stato effettuato mediante uno splittatore manuale, per tagliare longitudinalmente la canna e dividerla in sei parti (strisce).

Le strisce sono state tagliate trasversalmente in corrispondenza del diaframma, ottenendo lunghezze variabili a seconda della lunghezza dell'internodo. Successivamente il bambù è stato portato nel LaSTIn (Laboratorio di Sistemi Tecnologici Innovativi) di via Morgari, sede del Politecnico di Torino, dove ha avuto luogo la sperimentazione.

Fig. 5.3. Alberto Peyron durante il taglio delle strisce di bambù.



Le strisce sono state misurate, prendendo i campioni più grandi e più piccoli: la lunghezza era compresa tra 20 e 40 cm, la larghezza era compresa tra 2 e 3,5 cm, lo spessore della parete era compreso tra 0,4 e 0,7 cm. Il peso totale delle strisce era di 6006,7 g.

Sono stati preparati sei campioni di strisce di bambù da circa 1 kg ciascuno e sono stati essiccati in forno a 100 °C per 10 minuti. Ogni campione è stato pesato prima e dopo la cottura per verificare la variazione di umidità interna: la perdita di umidità media è stata del 4,43%. L'equazione per il calcolo dell'umidità è la seguente:

$$m (\%) = (m_i - m_f) \times 100 / m_i$$

m. = massa iniziale

m, = massa finale (dopo la cottura)

Una seconda pesatura totale del bambù, dopo la cottura, è stata necessaria al fine di verificare eventuali variazioni di massa e di umidità in fase di raffreddamento. Il peso finale del bambù essiccato e raffreddato era di 5722 g, 18,4 g in

Fig. 5.4. Strisce di bambù.



meno rispetto alla prima pesatura. La perdita di umidità totale è stata del 4,74%.

Per la sfibratura ho proceduto con la macerazione delle strisce di bambù in una soluzione alcalina a base di idrossido di sodio (NaOH) puro al 98%. L'idrossido di sodio, noto come soda caustica, è una base minerale forte, solido a temperatura ambiente, igroscopico e deliquescente. Spesso si trova in forma di perline o scaglie. In fase di utilizzo è opportuno munirsi di guanti, mascherina e occhiali per evitare ustioni ed esalazioni tossiche. La soluzione è stata preparata con acqua e massa percentuale di NaOH al 13,5%. La formula per il calcolo della massa percentuale è la seguente:

$$\% \text{ m/m} = \text{m}_{\text{soluto}} / \text{m}_{\text{solvente}} * 100$$

Fig. 5.5. Essiccazione in forno delle strisce di bambù.



Per il primo test ho utilizzato un campione di strisce di bambù da 1012 g. Il bambù è stato immerso nella soluzione a base di idrossido di sodio per un tempo di circa 14 ore. Al termine della macerazione il bambù è stato rimosso dalla soluzione e messo ad asciugare. Il bambù, ancora umido, si presentava intatto, morbido al tatto, con una scarsa visibilità di fibre. Le strisce sono rimaste ad asciugare per 72 ore e hanno riacquistato la durezza iniziale, rendendo vano ogni tentativo di estrarre le fibre.

Per il secondo test ho utilizzato un campione di strisce di bambù da 999,25 g. Le strisce sono state tagliate longitudinalmente (in due o tre

Fig. 5.6. Pesatura delle strisce in bambù.

	(g)	Dopo la cottura (g)	Umidità persa (%)
1° pesatura	1001,6	944,6	5,66
2° pesatura	1007	951,4	5,52
3° pesatura	999,9	960,4	3,95
4° pesatura	100,4	960,9	3,95
5° pesatura	999,5	970,5	2,90
6° pesatura	998,3	952,3	4,61
Totale	6006,7	5740,4	4,74

Fig. 5.7. Macerazione nella soluzione alcalina.



parti) in modo da ottenere strisce più sottili e una maggiore superficie a contatto con la soluzione. A differenza del primo test, il contenitore con la soluzione alcalina e le strisce di bambù è stato coperto per evitare eventuali fenomeni di ossidazione. Il tempo di macerazione è stato di circa 24 ore. Il bambù è stato lavorato subito dopo la rimozione dalla soluzione, per sfruttare la consistenza ancora morbida. Una volta rimosso, il bambù è stato macinato all'interno di una mola e, in alcuni casi, schiacciato manualmente con un martello. In questo modo è stato possibile aprire le strisce ed estrarre facilmente le fibre. Le fibre ottenute avevano una lunghezza variabile; il

Fig. 5.8. Sfibratura delle strisce dopo la macinazione.



diametro delle fibre è inferiore al millimetro.

Dai 999,25 g di strisce di bambù, sono stati ricavati circa 600 g di fibra umida: lo scarto di 400 g riguarda le parti più esterne del bambù dalle quali non è stato possibile estrarre le fibre; altre fibre sono rimaste all'interno della macina, o ridotte in poltiglia a causa dell'eccessiva macinazione, e pertanto non utilizzabili.

Dai 600 g di fibra di fibra umida sono stati preparati sei campioni da 100 g ciascuno, cotti per 10 minuti a 100 °C al fine di rimuovere il contenuto di acqua e idrossido di sodio assorbito durante la macerazione. I sei campioni sono stati pesati prima e dopo la cottura ed è stata registrata

Fig. 5.9. Pesatura della fibra di bambù.

	Dopo la cottura (g)	Umidità persa (%)
1° pesatura	67,53	32,47
2° pesatura	69,03	30,97
3° pesatura	70,93	29,07
4° pesatura	69,12	30,88
5° pesatura	73,80	26,20
6° pesatura	72,15	27,85
Totale	422,56	29,57

Fig. 5.10. Dettaglio di una striscia parzialmente sfibrata.



una riduzione media dell'umidità interna del 29,57%. Il peso della fibra secca ottenuta era di 422,56 g.

Per il terzo test di estrazione ho proceduto seguendo gli stessi passaggi del secondo. Da circa 1 kg di strisce di bambù (in questo caso le strisce non sono state ulteriormente splittate) sono stati ricavati 373,93 g di fibra secca di bambù. Il peso totale della fibra di bambù, ricavata da circa 2 kg di strisce di bambù, era di 796,49 g.

Fig. 5.11. Dettaglio delle fibre appena estratte.



5.2 MIX DESIGN

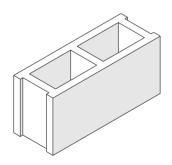
Una volta ottenuta la fibra di bambù necessaria alla realizzazione degli impasti, ho provveduto alla realizzazione del blocco in calcestruzzo: in origine il blocco, con due fori, avrebbe dovuto replicare le dimensioni di un qualsiasi blocco haitiano, seguendo le direttive dettate dal CNBH. Le dimensioni iniziali erano: 390 mm di lunghezza, 150 mm di larghezza, 190 mm di altezza e 35 mm di parete.

A causa delle dimensioni ridotte della piastra

Fig. 5.12. Caratteristiche del blocco.

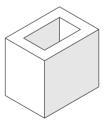
Caratteristiche	mm	mm ²	%
Lunghezza	200		
Altezza	190		
Profondità	150		
Spessore parete	35		
Superficie totale		30000	
Superficie piena		19600	
Superficie forata		10400	
Percentuale foratura			34.67

Fig. 5.13. Evoluzione del blocco in calcestruzzo.



Blocco originale: 390 x 150 x 190 (spessore parete 2,5 cm)

metallica, impiegata in laboratorio per i test di resistenza a compressione, ho modificato la lunghezza del blocco, dimezzandola, lasciando invariate l'altezza, la larghezza e lo spessore della parete. In questo modo ho ottenuto un blocco con un solo foro centrale con le seguenti dimensioni: 200 mm di lunghezza, 150 mm di larghezza, 190 mm di altezza. La percentuale di foratura è del 34,67% e la superficie resistente è di 19600 mm².



Blocco semplificato: 200 x 150 x 190 (spessore parete 3,5 cm - senza scanalature)

Una volta definita la morfologia del blocco ho provveduto alla realizzazione del cassero. Il primo prototipo è stato costruito con scarti di tavole lignee e polistirolo. Le tavole, spesse 2,5 cm, sono state avvitate fra loro per realizzare una scatola esterna e una base solide. Le lastre in polistirolo sono state tagliate con una lama calda e inserite all'interno della scatola lignea per facilitare la scasseratura. Il foro centrale è stato realizzato con pezzi di polistirolo.

É stato realizzato un impasto di prova per collaudare il cassero che però non ha dato delle risposte positive: una volta scasserato, il blocco presentava delle superfici irregolari e di conseguenza lo spessore della parete non è rimasto costante. Durante il taglio mediante lama calda, infatti, il polistirolo si deforma e inoltre la scarsa rigidezza, durante la fase di presa del calcestruzzo, accentua tali deformazioni.

Un secondo tentativo è stato effettuato realizzando l'intero cassero in legno (con lastre spesse 1,8 cm), in modo da ottenere delle superfici che fossero più regolari possibile. Per collaudare il cassero è

Fig. 5.14. Realizzazione del cassero in legno.



stato realizzato un impasto con cemento, sabbia e fibra di bambù, i cui dosaggi non sono stati curati poiché non rilevanti ai fini della prova.

La fibra di bambù è stata impiegata per osservare la sua disposizione nella miscela. In particolare ho osservato che è consigliabile mescolare la fibra con una graduale aggiunta di acqua, al fine di evitare la formazione grovigli; le fibre più lunghe sono state inoltre tagliate, per ottenere una lunghezza massima di 12 cm; in generale la lunghezza delle fibre è compresa tra i 6 e i 12 cm. Il cassero è risultato efficiente seppure con alcuni difetti: il legno usato per realizzare il foro centrale è stato difficile da rimuovere e inoltre ha causato infiltrazioni di acaua all'interno del foro. Per i casseri successivi le tavole di legno sono state avvitate alla base e nella parte superiore, al fine di evitare il contatto tra le viti e il calcestruzzo. Inoltre le tavole centrali sono state rivestite da uno strato di pellicola in PVC e cosparse con olio di puro lino come lubrificante.

Per la realizzazione dei provini, state realizzate due serie di blocchi, la prima (\$1) composta da 12 campioni; la seconda (\$2) da 9. I primi 12 provini sono stati così suddivisi: 3 blocchi in calcestruzzo semplice (\$1.1.1, \$1.1.2, \$1.1.3), necessari come termine di paragone per i successivi blocchi con bambù; 3 blocchi con l'1% di fibra di bambù (\$1.2.1, \$1.2.2, \$1.2.3); 3 blocchi con il 4,5% di fibra di bambù (\$1.3.1, \$1.3.2, \$1.3.3); 3 blocchi con il 9% di fibra di bambù (\$1.4.1, \$1.4.2, \$1.4.3).

La percentuale di fibra di bambù è stata calcolata sul peso del cemento. I tre dosaggi di fibra di bambù sono stati ipotizzati in seguito all'analisi condotta su esperimenti simili, riportata nel paragrafo 04.4. La fibra di bambù utilizzata per i vari provini è stata di 482 g: 35 g per l'1% di fibra, 154 g per il 4,5%, 293 g per il 9%.

L'impasto è stato realizzato con il seguente dosaggio, per un metro cubo di calcestruzzo: 320 kg di cemento, 1200 kg di ghiaia, 600 kg di sabbia, un rapporto acqua/cemento di 0,5. Dividendo per il volume del blocco ho ottenuto le

Fig. 5.15. Impasto di prova con cemento, sabbia e fibra di bambù.



quantità da utilizzare per ogni provino.

Ogni impasto è stato realizzato a mano con cemento Portland classe 3,25, sabbia e misto pisello, le cui schede tecniche sono consultabili alla fine del capitolo.

Per ottenere una corretta miscela, il cemento e gli aggregati sono stati mescolati a secco e, in seguito, con una graduale aggiunta di acqua per circa 15 minuti. Nel caso di blocchi con fibra di bambù, questa è stata aggiunta gradualmente, contemporaneamente all'acqua, per evitare la formazione di grovigli. Una volta ottenuta la giusta consistenza, l'impasto è stato versato nel cassero, costipato manualmente e livellato per avere delle superfici piane. I blocchi sono rimasti ad asciugare per circa una settimana prima di essere scasaserati e lasciati a stagionare al riparo da sole e pioggia per 28 giorni.

Una volta completata la stagionatura i blocchi sono stati pesati per verificare la variazione di peso specifico nelle varie miscele. Il peso specifico della miscela di calcestruzzo semplice era di 2386,8 kg/m³; quello della miscela con l'1% di

Fig. 5.16. Miscela di calcestruzzo e fibra di bambù.



fibra di bambù era di 2313,1 kg/m³; quello della miscela con il 4,5% di bambù era di 1925,4 kg/m³; quello della miscela con il 9% di bambù era di 1641,9 kg/m³.

Oltre alla variazione di peso, la prima cosa che risalta alla vista è la scarsa coesione degli aggregati nei blocchi con una maggiore presenza di bambù (4,5% e 9%). Due provini infatti, uno per ogni dosaggio, hanno subito dei danni durante la scasseratura e pertanto non è stato possibile effettuare test su di essi.

Per la seconda serie di blocchi, ho mantenuto stesse percentuali di fibra di bambù, in modo da poter ottenere dati confrontabili. Tuttavia i dosaggi della seconda miscela sono stati modificati: da 1 parte di cemento, 2 di sabbia e 4 di ghiaia, sono passato a 1 di cemento, 2 di sabbia e 3 di ghiaia. Ma, vista l'eccessiva presenza di inerte grosso, ho invertito il dosaggio della sabbia con la ghiaia. Pertanto la proporzione finale è stata: 1 parte di cemento, 2 di ghiaia e 3 di sabbia.

Il rapporto a/c è stato mantenuto di 0,5, anche se con l'aggiunta della fibra di bambù, una fibra

Fig. 5.17. Scasseratura di uno dei blocchi in calcestruzzo.



igroscopica, la quantità di acqua necessaria è stata di poco maggiore.

Le modalità di impasto sono state le medesime della prima serie di blocchi e la stagionatura dei 9 provini è stata, come la precedente, di 28 giorni. Al termine della stagionatura i blocchi si presentavano più compatti rispetto alla prima serie poiché la maggior presenza di sabbia ha ridotto i vuoti interstiziali rendendo le superfici dei blocchi molto più uniformi. Anche i campioni con una maggiore presenza di bambù hanno mostrato una maggiore coesione rispetto ai rispettivi dosaggi della \$1.

In generale, sia nella S1 che nella S2 i blocchi con il 9% di fibra di bambù presentavano fenomeni di segregazione e, in alcuni casi, fenomeni di stratificazione. La maggiore compattezza ha comportato un aumento del peso specifico in ogni dosaggio, rispetto alla S1: il peso specifico della miscela con l'1% di fibra di bambù era di 2400,9 kg/m³; quello della miscela con il 4,5% di bambù era di 2150,36 kg/m³; quello della miscela con il 9% di bambù era di 1825,67 kg/m³.

Durante la scasseratura dei provini della S2, nessun blocco è stato danneggiato ed è stato possibile effettuare le prove di resistenza a compressione su ognuno di essi.

Fig. 5.18. Pesi specifici della prima e seconda serie.

Serie 1	Peso specifico	
0%	2386,84 kg/m³	
1%	2113,15 kg/m³	
4,5%	1925,40 kg/m³	
9%	1641,98 kg/m³	

Serie 2	Peso specifico	
1%	2400,00 kg/m³	
4,5%	2156,76 kg/m³	
9%	1862,16 kg/m³	

Fig. 5.19. Blocco della seconda serie, con l'1% di fibra di bambù.

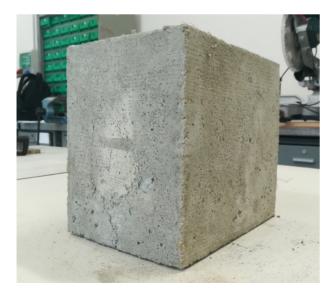


Fig. 5.20. Blocco della seconda serie, con il 9% di fibra di bambù.



Fig. 5.21. Massa dei provini della prima e seconda serie.

Serie 1	0%	1%	4,5%	9%
\$1.1.1	8,86 kg			
\$1.1.2	8,67 kg			
\$1.1.3	8,96 kg			
Valore medio	8,83 kg			
\$1.2.1		8,25 kg		
\$1.2.2		8,47 kg		
\$1.2.3		8,46 kg		
Valore medio		8,56 kg		
\$1.3.1			6,51 kg	
\$1.3.2			7,16 kg	
\$1.3.3			7,70 kg	
Valore medio			7,12 kg	
\$1.4.1				5,64 kg
\$1.4.2				6,43 kg
\$1.4.3				6,15 kg
Valore medio				6,08 kg

Serie 2	1%	4,5%	9%
\$2.1.1	8,34 kg		
\$2.1.2	8,96 kg		
\$2.1.3	9,34 kg		
Valore medio	8,88 kg		
\$2.2.1		7,96 kg	
\$2.2.2		8,11 kg	
\$2.2.3		7,87 kg	
Valore medio		7,98 kg	
\$2.3.1			6,47 kg
\$2.3.2			6,86 kg
\$2.3.3			6,92 kg
Valore medio			6,89 kg

5.3 TEST E OSSERVAZIONI FINALI/TEST AND FINAL REMARKS

Per le prove di resistenza a compressione, effettuate nel LaSTIn di via Morgari, con la partecipazione di Angela Lacirignola e la supervisione di Corrado Carbonaro, è stata utilizzata una pressa meccanica. Al termine della prova, non appena si arriva alla rottura del provino, sul monitor viene riportato il carico massimo, espresso in kN, esercitato dalla pressa.

Prima dell'inizio della prova, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- inserimento della velocità di carico (600 secondi);
- inserimento del carico massimo (200 kN);
- posizionamento del provino sulla piastra metallica inferiore;

Fig. 5.22. Disposizione di un provino nella pressa.



 posizionamento e allineamento della piastra metallica superiore per evitare fenomeni di eccentricità;

Si ricorda che la superficie resistente del blocco è di 19600 mm². Di seguito vengono riportati i valori di resistenza a compressione in kN e in MPa, sapendo che 1 N/mm² = 1 MPa.

Blocchi in calcestruzzo semplice (\$1.1):

- S1.1.1 153,43 kN = 7,83 MPa;
- $S1.1.2\ 163,35\ kN = 8,35\ MPa;$
- \$1.1.3 oltre 200 kN = oltre 10,2 MPa.

Blocchi con l'1% di fibra di bambù (\$1.2):

- \$1.2.1 140,85 kN = 7,19 MPa;
- S1.2.2 145 kN = 7.4 MPa;
- \$1.2.3 154,89 kN = 7,9 MPa.

Fig. 5.23. Rottura di un blocco della prima serie con il 4,5% di bambù.



Blocchi con il 4,5% di fibra di bambù (\$1.3):

- $$1.3.1\ 102,9\ kN = 5,25\ MPa;$
- $$1.3.2 \ 138,4 \ kN = 7,06 \ MPa;$

Durante le scasseratura, uno dei provini è stato danneggiato e pertanto non è stato possibile effettuare la prova di resistenza.

Blocchi con il 9% di fibra di bambù (\$1.4):

- \$1.4.158,53 kN = 2,99 MPa;
- S1.4.2 43,08 kN = 2,2 MPa;

Durante le scasseratura, uno dei provini è stato danneggiato e pertanto non è stato possibile effettuare la prova di resistenza.

In generale, i provini delle serie \$1.1 e \$1.2 hanno esercitato una buona resistenza a compressione: i primi due blocchi in calcestruzzo semplice hanno sopportato un carico elevato, mentre il terzo ha sopportato il carico massimo esercitato dalla macchina (200 kN), senza riportare alcun danno; la serie \$1.2, con l'1% di fibra di bambù, ha

Fig. 5.24. Rottura di un provino della seconda serie con il 4,5 % di bambù.



resistito a carichi molto simili ai precedenti, con un medesimo comportamento a rottura, di tipo fragile, presentando lievi fessurazioni durante la prova ed evidenti distacchi dopo il collasso. I valori di resistenza a compressione della \$1.3, con il 4,5% di fibra di bambù, sono ancora accettabili seppur differenti fra loro. Inoltre la mancata prova di uno dei tre provini riduce l'attendibilità del test. I blocchi con il 9% di bambù hanno resistito a carichi molto inferiori rispetto alle prove precedenti e pertanto non hanno dato risultati soddisfacenti. Per la seconda serie di provini, sono stati effettuati dei test a compressione con le medesime modalità della \$1. Di seguito vengono riportati i valori di resistenza a compressione dei provini della \$2.

Blocchi con l'1% di fibra di bambù (\$2.1):

- S2.1.1 112,81 kN = 5,75 MPa;
- S2.1.2 113,90 kN = 5,81 MPa;
- $S2.1.3\ 108,65\ kN = 5,54\ MPa.$

Fig. 5.25. Dettaglio di un frammento di blocco con bambù.



Blocchi con il 4,5% di fibra di bambù (\$2.2):

- S2.2.1 157,1 kN = 8,01 MPa;
- S2.2.2137,92 kN = 7,0 MPa;
- \$2.2.3 140,87 = 7,18 MPa.

Blocchi con il 9% di fibra di bambù (\$2.3):

- $S2.3.1\ 102,73\ kN = 5,24\ MPa;$
- S2.3.2 112,12 kN = 5,72 MPa;
- S2.3.350,05 kN = 2,55 MPa.

Escludendo il valore di resistenza a compressione del campione \$2.3.3, sono stati ottenuti dei valori molto vicini fra loro. Si nota in particolare, che la \$2.1 (ovvero i blocchi con l'1% di fibra di bambù) ha resistito a carichi inferiori rispetto alla \$1.1 (ovvero la prima serie di blocchi con l'1% di fibra di bambù) ma anche inferiori alla \$2.2 (ovvero i blocchi con il 4,5% di fibra di bambù).

Si evince dunque che, con la nuova miscela, le prestazioni meccaniche del blocco aumentano

Fig. 5.26. Valori dei carichi massimi applicati ai provini della prima e della seconda serie.

Serie 1	0%	1%	4,5%	9%
\$1.1.1	153,43 kN			
\$1.1.2	163,65 kN			
\$1.1.3	200,00 kN			
Valore medio	172,36 kN			
\$1.2.1		140,85 kN		
\$1.2.2		145,00 kN		
\$1.2.3		154,89 kN		
Valore medio		146,91 kN		
\$1.3.1			102,90 kN	
\$1.3.2			138,40 kN	
\$1.3.3			-	
Valore medio			120,65 kN	
\$1.4.1				58,53 kN
\$1.4.2				43,08 kN
\$1.4.3				-
Valore medio				50,81 kN

con l'aumentare della percentuale di bambù, mentre diminuiscono nuovamente nella \$2.3 (ovvero nei blocchi con il 9% di fibra di bambù). In generale i provini con una percentuale del 4,5% hanno avuto un comportamento migliore.

L'analisi e l'interpretazione dei dati provenienti dai test in laboratorio mi ha dato l'opportunità di trarre delle conclusioni sull'utilizzo della fibra di bambù nel calcestruzzo.

Il processo lavorativo necessario alla sfibratura del bambù risulta relativamente semplice in termini pratici e anche poco dispendioso: in 48 ore è possibile ottenere la fibra dalle canne di bambù; lo scarto residuo del 40% può essere ridotto aumentando la manodopera; la quantità di fibra ricavata può essere maggiore ottimizzando i processi della lavorazione.

La fibra va inoltre impiegata in una matrice

Serie 2	1%	4,5%	9%
\$2.1.1	112,81 kN		
\$2.1.2	113,90 kN		
\$2.1.3	108,65 kN		
Valore medio	111,79 kN		
\$2.2.1		157,10 kN	
\$2.2.2		137,92 kN	
\$2.2.3		140,87 kN	
Valore medio		145,30 kN	
\$2.3.1			102,73 kN
\$2.3.2			112,12 kN
\$2.3.3			50,05 kN
Valore medio			81,09 kN

cementizia adeguatamente dosata. Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, ho realizzato due diverse miscele: la prima con un contenuto di ghiaia evidentemente troppo elevato, che ha reso l'impasto poco omogeneo e poco coeso; la seconda con una maggiore presenza di inerte fino che ha migliorato la fluidità e la lavorabilità della miscela, riducendo i vuoti interstiziali.

Dai test sono emersi due importanti fattori: il peso specifico della miscela decresce all'aumentare della percentuale di fibra di bambù; all'aumentare della percentuale di fibra di bambù la resistenza a compressione diminuisce, compromettendo le prestazioni del blocco. Quest'ultima osservazione viene sinteticamente spiegata da un grafico di dispersione tra resistenza a compressione massima per ogni provino (asse delle ordinate) e

Fig. 5.27. Valori massimi di resistenza a compressione dei provini della prima e seconda serie (1MPa = 1 N/mm²).

Serie 1	0%	1%	4,5%	9%
\$1.1.1	7,83 MPa			
\$1.1.2	8,35 MPa			
\$1.1.3	10,20 MPa			
Valore medio	8,79 MPa			
\$1.2.1		7,19 MPa		
\$1.2.2		7,90 MPa		
\$1.2.3		7,40 MPa		
Valore medio		7,50 MPa		
\$1.3.1			5,25 MPa	
\$1.3.2			7,06 MPa	
\$1.3.3			-	
Valore medio			6,16 MPa	
\$1.4.1				2,99 MPa
\$1.4.2				2,20 MPa
\$1.4.3				-
Valore medio				2,59 MPa

percentuale in peso di fibra di bambù (asse delle ascisse) da cui è stato possibile calcolare il modello di regressione lineare. Dal calcolo effettuato per la prima serie di provini, il coefficiente di correlazione R^2 , che definisce l'attendibilità del modello, (R^2 è compreso tra 0 e 1, se $0 < R^2 < 0.3$ la correlazione è debole; se $0.3 < R^2 < 0.7$ è moderata; se $0.7 < R^2 < 1$ è forte) è di 0.879, mostrando così una forte correlazione lineare tra i dati. Tale modello viene descritto dalla seguente equazione:

$$y = -12,643x + 167,97$$

Al contrario, la seconda serie di provini ha evidenziato un correlazione lineare quasi nulla tra le due variabili: il coefficiente di correlazione infatti è uguale a 0,0024. Il modello quindi

Serie 2	1%	4,5%	9%
\$2.1.1	5,76 MPa		
\$2.1.2	5,81 MPa		
\$2.1.3	5,54 MPa		
Valore medio	5,70 MPa		
\$2.2.1		8,02 MPa	
\$2.2.2		7,04 MPa	
\$2.2.3		7,09 MPa	
Valore medio		7,41 MPa	
\$2.3.1			5,24 MPa
\$2.3.2			5,72 MPa
\$2.3.3			2,55 MPa
Valore medio			4,14 MPa

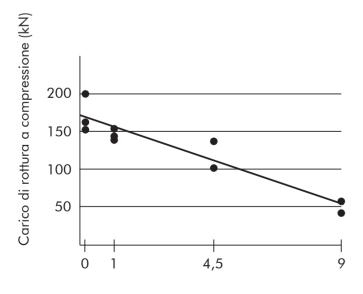
non spiega tale grafico in quanto i risultati non seguano nessun andamento lineare.

Questa sostanziale differenza di attendibilità tra i due grafici dimostra le evidenti differenze tra le due miscele e dunque tra i due diversi materiali compositi. La non attendibilità del grafico non è tuttavia sinonimo di inaffidabilità. Anzi, si osserva come l'incremento della percentuale di bambù, dall'1% al 4,5% comporti un aumento delle prestazioni del blocco. Aumentando ulteriormente la percentuale, i valori diminuiscono fino a omologarsi ai precedenti. In particolare i provini con l'1% di bambù hanno sopportato carichi compresi tra i 108,65 kN e i 112,81 kN; quelli con il 4,5% hanno dato i migliori risultati, resistendo a carichi compresi tra i 137,92 kN e i 157,1 kN; i provini con il 9% di fibra di bambù hanno resistito a carichi simili al primo dosaggio (1%). Questo andamento potrebbe essere sintetizzato con un modello non lineare, il quale evidenzierebbe un intervallo in cui la percentuale di bambù utilizzata migliora le prestazioni del blocco.

Fig. 5.28. Grafico di dispersione della prima serie di provini.

Per avere un termine di paragone con la normativa europea vigente, i valori di resistenza a compressione dei vari provini verranno confrontati con la norma UNI EN 771-3:2015 che specifica le caratteristiche e i requisiti prestazionali degli elementi per muratura di calcestruzzo vibrocompresso realizzati con aggregati pesanti e leggeri oppure da una loro combinazione, per i quali i principali impieghi previsti sono murature di edifici o di opere di ingegneria civile con o senza capacità portante. In tale documento vengono riportati esempi di blocchi forati in calcestruzzo che mostrano una resistenza a compressione compresa tra i 4 e i 6 N/mm².

In Italia, secondo l'art. 7.8 del DM 14/01/2008, i blocchi devono avere percentuale di foratura e valori di resistenza a compressione tali da poter essere utilizzati per l'esecuzione di murature portanti, anche nelle zone classificate sismiche. I valori sono i seguenti: percentuale di foratura $\emptyset \le 45\%$; resistenza caratteristica nella direzione verticale dei carichi $f_{hk} \ge 5 \text{ N/mm}^2$.



$$y = -12,643x + 167,97$$

 $R^2 = 0.879$

Se consideriamo la \$2.2, ovvero la seconda serie di provini con dosaggio del 4,5% di bambù, che ha dato i risultati migliori in termini di percentuale di fibra utilizzata e resistenza a compressione esercitata, i valori risultano compatibili se paragonati alla UNI EN 771-3:2015 e all'art. 7.8 del DM 14/01/2008.

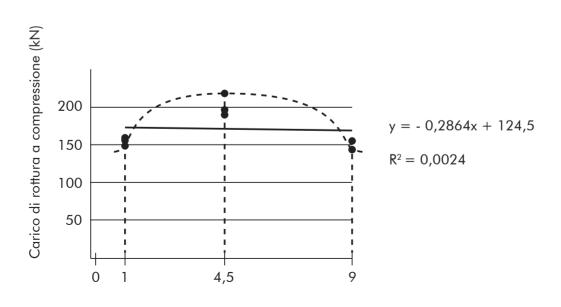
I blocchi in questione infatti hanno una percentuale di foratura del 34,67% e dei valori di resistenza a compressione compresi tra 7 e 8 N/mm².

Al di là di queste considerazioni, è fondamentale analizzare come il contributo della fibra di bambù influisca, oltre che nella resistenza a compressione, nel comportamento a rottura dei diversi provini. Se nei blocchi in calcestruzzo semplice, così come nei provini con l'1% di bambù, è stato riscontrato un comportamento a rottura di tipo fragile, all'aumentare della percentuale di fibra di bambù si riduce la fragilità del blocco. I test successivi hanno infatti messo in evidenza la duttilità dei provini che hanno mostrato evidenti deformazioni plastiche durante la prova, prima della rottura.

Fig. 5.29. Grafico di dispersione della seconda serie di provini.

Inoltre, una volta arrivati al collasso mostravano dei danni minori, rimanendo parzialmente intatti rispetto ai primi blocchi che si sono rotti in più parti.

È importante evidenziare la differenza tra i due tipi di rottura, soprattutto in contesto come quello di Haiti: un materiale con un comportamento a rottura fragile non manifesta alcun segno premonitore prima del collasso e, nel caso di materiali come il vetro, un comportamento fragile presuppone una rottura in più parti. Al contrario un materiale duttile si deforma plasticamente, mostrando i primi segni di cedimento prima del collasso e spesso rimane intatto o con fenomeni di distacco minimi. In caso di sisma o crolli dovuti ad altre cause, la duttilità del materiale concederebbe ai fruitori il tempo necessario ad abbandonare l'edificio prima del collasso, riducendo sensibilmente l'ammontare dei danni a cose e persone.



5.4 SCHEDE TECNICHE/DATASHEET

RASSASIE S.r.l.

Via A. Labriola, 4 40010 Sala Bolognese (Bo) Codice Fiscale: 00627720378 Partita Iva: 00519761209

SCHEDA TECNICA

PRODOTTO: CEMENTO GRIGIO 325

DESCRIZIONE

Il Cemento grigio 325 e' un cemento Portland al calcare tipo II a resistenza iniziale elevata.

FORNITURA

- Sacchi e/o scatole da Kg. 5
- Scatole da Kg. 1

CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO:

PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE:

	Proprieta'	un. Misura	valore medio
Chimiche:	SO3	%	2,44
	CI	%	0,0403
Fisiche:	S.sp. Blaine	cm2/g	3902
	Espansione	mm	1,42
	Inizio presa	min	150,16
Meccaniche:	R.c. 2 gg	MPa	22,32
	R.C. 28 gg	MPa	48,17

Stato Fisico Colore Odore PH (T= 20°C in acqua, rapporto acqua/solido 1:2) Punto di fusione Punto di infiammabilità Tasso di evaporazione Infiammabilità di solidi e gas Proprietà esplosive Proprietà comburenti Densità relativa Densità apparente Solubilità in acqua (T= 20°C)	Polvere Grigio scuro Inodore 11 – 13,5 > 1200°C NA (non applicabile) NA (non applicabile) NA (non applicabile) NA non applicabile) NOn esplosivo Non comburente 2,75 – 3,50 g/cm3 1,4 – 1,7 g/cm3 Minima 0,1 – 1,5 g/L
Densità apparente	1,4 - 1,7 g/cm3

UTILIZZO

Il suo impiego abituale riguarda:

- strutture non precompresse in elevazione o morfoligicamente snelle;
- strutture massive;
- strutture di fondazione;
- murature;
- getti faccia a vista;
- premiscelati;
- elementi per l'arredo urbano;
- riparazioni di varia natura.

VÂNTAGGI

Le sue caratteristiche sono tali da permetterne l'impiego in una ampia gamma di realizzazioni.

Le informazioni sopra riportate sono redatte in base alle nostre conoscenze teoriche ed applicative. La Societa', tuttavia non si assume alcuna responsabilita' poiche' le condizioni d'uso e d'impiego non sono soggette al controllo della Rassasie S.r.l.

Data di revisione: 28/01/2013

RASSASIE S.R.L.

Via A. Labriola, 4 40010 Sala Bolognese (Bo) Codice Fiscale: 00627720378 Partita Iva: 00519761209

SCHEDA TECNICA

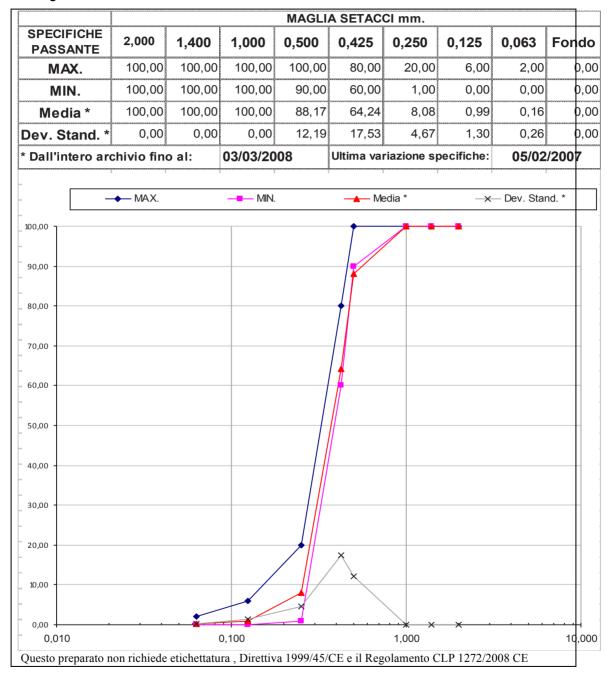
Sabbia 105		20: 2003 Aggregati pe	
Sabbia I U J	EN 13	139: 2003 Aggrega	ati per malta
		EN 12620: 2003	EN 13139: 2003
- Granulometria		0/1	0/1
Categoria		G _F 85 (UNI EN 12620)	
Modulo di Finezza: Categoria e valore medio		<i>MF</i> – 2,03	<i>MF</i> – 2,03
- Massa volumica apparente dei granuli		2,68 Mg/m3	2,68 Mg/m3
- Assorbimento di acqua		1,1 % WA ₂₄	1,1 % WA ₂₄
- Pulizia			
Contenuto in fini: Categoria e valore medio	$f_3 - 0.2\%$	Categoria 1	
Categoria (MB, SE)	NPD	NPD	
Contenuto di conchiglie	NPD	NPD	
- Composizione/contenuto			
Cloruri		0,0024%	0,0024%
Solfati solubili in acido – Categoria		0,01% - AS _{0,2}	AS _{0,2}
Zolfo totale		0,005%	0,005%
Contenuto di carbonato		4,11%	4,11%
- Costituenti che alterano la velocità di presa e di indur del calcestruzzo o della malta (contenuto in sostanza		Soluzione incolore	Soluzione incolore
- Stabilità di volume			
Ritiro per essiccamento		NPD	NPD
- Emissione di radioattività		NPD	NPD
- Rilascio di metalli pesanti		NPD	NPD
- Rilascio di idrocarburi policromatici	NPD	NPD	
- Rilascio di altre sostanze pericolose	NPD	NPD	
- Durabilità al gelo/disgelo	NPD	NPD	
- Durabilità alla reazione alcali-silice		NON REATTIVA	NON REATTIVA
			SEGUE

Sabbia 105

Caratteristiche:

- Sabbia silicea essiccata e selezionata
- Taglio superiore con reti inclinate a maglie: 0,60 mm

Specifiche granulometriche:



Le informazioni sopra riportate sono redatte in base alle nostre conoscenze teoriche ed applicative. La Societa', tuttavia non si assume alcuna responsabilita' poiche' le condizioni d'uso e d'impiego non sono soggette al controllo della Rassasie S.r.l.

Data di revisione: 28/01/2013



Sede Legale, Cava e impianto connesso: REGIONE GERMAIRE, 10041 – Carignano (TO) – Tel. +39 011 9713582 www.cavegermaire.it



04

Nome commerciale del prodotto: Misto pisello

Sistema 2+

Ente certificatore: ICMQ SpA – 1305 CPR Numero del Certificato CE: 1305 – CPD - 0100 DoP e cod. identificativo: 004 Misto Pisello Ed.2 Rev.4 valida a partire dal 31/07/2017

	UNI EN 12620 Aggregati per calcestruzzo
Descrizione petrografica	Aggregati silicei quarzoso-gneissici
Granulometria	0/14 Ga90
Massa volumica granuli pre essiccati	2,6 Mg/m ³
Contenuto fini	f3
Resistenza alla frammentazione/frantumazione Ø 10/14 mm	LA30
Resistenza alla levigabilità accelerata	VL_{44}
Resistenza all'abrasione	AAV ₁₀
Resistenza all'usura	M _{DE} 15
Composizione/contenuto	
Cloruri	<0,001%
Solfati solubili in acido	AS _{0,2}
Zolfo totale	S ₁
Contenuto di carbonato	2,4%
Assorbimento d'acqua (media)	WA ₂₄ 0,8%
Durabilità al gelo/disgelo	F1
Durabilità alla reazione alcali/silice	non reattivo

CURVA TIPICA MISTO PISELLO

(serie base + serie 2)

DIAMETRO SETACCI mm	16	14	12,5	10	8	6,3	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
% PASSANTE	100	95,7	90,1	75,3	63,7	58,5	46,7	34,3	23,9	19,9	10,2	4,3	2,3

Il Diametro Max. può essere >99%, nel qual caso devono essere dichiarate la granulometria tipica anche agli stacci intermedi della serie principale più quelli della serie 2

Conclusione

A conclusione di questo percorso sperimentale, vorrei sintetizzare quanto emerso dalla ricerca. I blocchi in calcestruzzo con una percentuale del 4,5% di fibra di bambù, appartenenti alla seconda serie di provini, rappresentano al meglio le intenzioni di questa tesi. Essi infatti possiedono ottime caratteristiche meccaniche, un peso specifico sicuramente inferiore a quello di una semplice miscela di calcestruzzo e infine un contenuto di fibra di bambù sufficiente a influire in maniera significativa sul contenuto di cemento e aggregati. Se si considera il peso specifico di un calcestruzzo standard di circa 2400 Kg/m³, si è arrivati a circa 2100 Kg/m³ per il calcestruzzo fibrorinforzato con il 4,5% di bambù, ovvero 300 Kg in meno per ogni metro cubo di materiale. Questo risparmio di 300 Kg riguarda di fatto il cemento, la sabbia e la ghiaia utilizzati nell'impasto: in proporzione sarebbero circa 50 Kg di cemento, 100 Kg di ghiaia e 150 Kg di sabbia risparmiati per un metro cubo di calcestruzzo. Considerando le dimensioni di un'abitazione media e il numero di blocchi necessari a realizzare tale abitazione, il conteggio del materiale risparmiato è notevole.

Nondimeno il risparmio, oltre che economico, riguarda la produzione e l'importazione delle materie in questione: la produzione di cemento ad Haiti supera quella di qualsiasi altro materiale da costruzione e, oltre a essere prodotto localmente, è anche il materiale maggiormente importato. Pertanto l'impatto ambientale che produrrebbe un'abitazione costruita interamente in blocchi fibrorinforzati sarebbe inferiore rispetto ad una costruita con blocchi tradizionali.

XIII

Di fatto, questo upgrade economico-ambientale potrebbe innescare un processo a favore dell'incentivazione dell'utilizzo di materiali da costruzione rinnovabili: il bambù, così come altri materiali di origine vegetale, rappresentano infatti una risorsa notevole per Haiti e in particolare per il settore delle costruzioni locale. Per far sì che il tutto rappresenti effettivamente una proposta valida, bisognerebbe assicurarsi che ogni singolo passaggio della lavorazione, dalla miscela della matrice cementizia alla sfibratura del bambù, venga realizzato in maniera impeccabile, cosa che raramente avviene in un tipico cantiere haitiano. Come abbiamo precedente visto ci sono per fortuna dei buoni presupposti per migliorare la formazione e le competenze dei costruttori grazie a delle piccole realtà che lavorano costantemente in questa direzione.

La fattibilità di tale proposta non comporta dunque problemi dal punto di vista della reperibilità dei materiali. Il calcestruzzo è particolarmente abbondante e il bambù cresce spontaneo in un clima favorevole. Un aspetto che invece andrebbe maggiormente analizzato riguarda l'accettabilità culturale di un nuovo materiale composito nel settore edilizio haitiano. Come già detto i materiali da costruzione di origine vegetale non sono particolarmente impiegati in architettura, poiché considerati materiali poveri e poco prestanti. Ciò che preoccupa maggiormente ad Haiti è l'aspetto visivo, la percezione di solidità che il calcestruzzo è in grado di dare a un'abitazione e di renderla automaticamente 'sicura', quando invece il più delle volte non lo è. L'idea di una casa costruita interamente in legno, in bambù

XIV

o in qualsivoglia altro materiale che non sia il calcestruzzo, risulta estremamente impopolare. Ma, considerando tale studio, un blocco in calcestruzzo, seppur 'riempito' con fibra di bambù, manterrebbe esteriormente l'aspetto di un blocco tradizionale. La percezione visiva rimarrebbe pertanto inalterata risultando apprezzata dall'opinione locale.

Pertanto l'ipotesi di un blocco a matrice cementizia fibrorinforzato con bambù rappresenta un'alternativa valida per il mercato delle costruzioni haitiano. Sposerebbe infatti le necessità economiche di Haiti, ma anche quei limiti socio-culturali che difficilmente vengono superati. Il tutto a favore di un miglioramento dell'impatto ambientale ideale per Haiti, e non solo.

Concludo affermando che, questa ricerca sperimentale non ha una validità in termini assoluti: la durata della sperimentazione e il numero di campioni realizzati non presuppone una totale affidabilità. Sebbene i dati estrapolati e le osservazioni finali sono relativi alla sperimentazione da me condotta, essi hanno delle solide fondamenta basate su esperimenti scientifici passati. Inoltre ogni singolo passaggio riguardante le lavorazioni e i test sono stati curati al meglio e le successive osservazioni mantengono il più possibile un rigore scientifico necessario in qualsiasi altra prova in questo campo o in campi simili. Sarebbe opportuno pertanto dare un seguito a questa ricerca, in modo tale da poter implementare i dati a disposizione e sviluppare un prototipo per il mercato delle costruzioni locale che possa realmente contribuire al miglioramento dell'architettura ad Haiti.

XV

Conclusion

At the conclusion of this experimentation, I would like to summarize what emerged from the research. The concrete blocks with a percentage of 4,5% of bamboo fiber, belonging to the second series of specimens, best represent the intentions of this thesis. In fact they have excellent mechanical characteristics, a specific weight certainly lower than a simple concrete mixture and finally a bamboo fiber content sufficient to significantly affect the cement content and aggregates. If we consider the specific weight of a standard concrete of about 2400 Kg/m³, we have reached about 2100 Kg/m³ for fiber-reinforced concrete with 4.5% of bamboo, or 300 Kg less for each cubic meter of material. This saving of 300 kg actually regards the cement, sand and gravel used in the dough: in proportion they would be about 50 kg of cement, 100 kg of gravel and 150 kg of sand saved for a cubic meter of concrete. Considering the average size of a house and the number of blocks needed to build this house, counting of the material saved is considerable.

Nevertheless the savings, as well as the economic, concern the production and import of the materials in question: the production of cement in Haiti exceeds that of any other building material and, besides being locally produced, it is also the most imported material. Therefore the environmental impact that a house built entirely of fiber-reinforced blocks would produce would be less than one built with traditional blocks.

In fact, this economic-environmental upgrade could trigger a process in favor of

XVI

encouraging the use of renewable building materials: bamboo, as well as other materials of vegetable origin, represent a significant resource for Haiti and in particular for the sector of local construction.

To be sure that everything effectively represents a valid proposal, it should be ensured that every single processing step, from the mixture of the cement matrix to the defibering of the bamboo, is impeccably carried out, something that rarely happens in a typical Haitian yard. As we have seen before, fortunately there are good prerequisites for improving the builders' training and skills tank to local associations working every day in this direction.

The feasibility of this proposal does not therefore involve problems from the point of view of the availability of materials. Concrete is particularly abundant and bamboo grows spontaneously in a favorable climate. An aspect that should be better analyzed concerns the cultural acceptability of a new composite material in the Haitian construction sector. As already mentioned, building materials of plant origin are not particularly used in architecture, since they are considered poor and inefficient materials. What is most worrying in Haiti is the visual aspect, the perception of solidity that concrete is able to give to a home and to make it automatically 'safe', when in most cases it is not. The idea of a house built entirely of wood, bamboo or any other material than concrete is extremely unpopular. But, considering this study, a concrete block, although 'filled' with bamboo fiber, would externally maintain the appearance of a traditional block. The visual

XVII

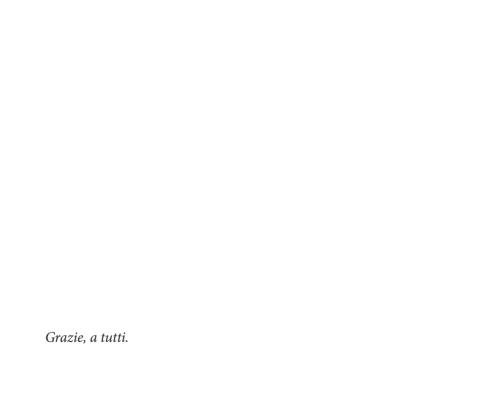
perception would therefore remain unchanged and stand out appreciated by the local opinion.

Therefore the hypothesis of a fiber-reinforced cement block with bamboo represents a valid alternative for the Haitian construction market. Indeed, it would marry Haiti's economic needs, but also those socio-cultural limits that are hardly exceeded. All in favor of an improvement in the ideal environmental impact for Haiti, and beyond.

I conclude by stating that, this experimental research does not have a validity in absolute terms: the duration of the experimentation and the number of realized samples does not presuppose a total reliability. Although the extrapolated data and final observations are related to the experiment I conducted, they have a solid foundation based on past scientific experiments. Furthermore, every single step concerning the processes and tests has been taken care of to the fullest and the subsequent observations maintain as much as possible a scientific rigor necessary in any other test in this field or in similar fields.

It would therefore be advisable to follow up on this research, so as to be able to implement the data available and develop a prototype for the local construction market that can really contribute to the improvement of architecture in Haiti.

XVIII





IXX

RIFERIMENTI FOTOGRAFICI

Fig. 1.1. http://thehaitianblogger.blogspot.com/2013_04_01_archive.html

Fig. 1.2. wordpress.com/tag/toussaint-louvrture/

Fig. 1.3. https://www.britannica.com/event/2010-Haiti-earthquake

Fig. 1.4. Central Intelligence Agency [US]. The world factbook.

www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ha.html

[foto elaborata dall'autore]

Fig. 1.5. www.bing.com/maps/

http://haitidata.org/clip/lidar_dem_mosaic

[foto elaborata dall'autore]

Fig. 1.6. www.bing.com/maps/

[foto elaborata dall'autore]

Fig. 1.7. Haiti - Indice di Sviluppo Umano.

www.hdr.undp.org

[grafico elaborato dall'autore]

Fig. 1.8. Haiti - Gross Domestic Product. U.S. Dollars (Billions) World Data Atlas.

[grafico elaborato dall'autore]

Fig. 1.9. Haiti - Gross Domestic Product diviso per settori (2012) Institut Haitien de Statistique et d'Informatique

[grafico elaborato dall'autore]

Fig. 1.10. Capacità elettrica installata in America Centrale e Caraibi (MW). 2016. CIA -

The World Factbook

[grafico elaborato dall'autore]

Fig. 1.11. Haiti - Population density and earthquake epicentre. OCHA.

www.bing.com/maps/

[foto elaborata dall'autore]

Fig. 2.1. http://taino-facts.blogspot.com/2007/11/bohio-is-taino.html

http://taino-facts.blogspot.com/2007/12/taino-canei.html

Fig. 2.2. Thom Mayne, Eui-Sung Yi. Haiti Now. The Now Institute. 2014.

[schema rielaborato dall'autore]

Fig. 2.3. Thom Mayne, Eui-Sung Yi. Haiti Now. The Now Institute. 2014.

[schema rielaborato dall'autore]

Fig. 2.4. https://cadmapper.com/

[mappa rielaborata dall'autore]

Fig. 2.5. www.bing.com/maps

Fig. 2.6. "Lessons from the Hati earthquake." Roger Bilham. NATURE. Vol 463. 18 February 2010.

Fig. 2.7. J. D. Marshall. "Recipe for Disaster: Construction Methods, Materials, and

XX

Building Performance in the January 2010 Haiti Earthquake."

Fig. 2.8. Port-de-Paix, 08 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.9. Port-de-Paix, 08 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.10. Gros-Morne, 9 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.11. Port-de-Paix, 08 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.12. Croix des Bouquets, 12 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.13. Croix des Bouquets, 12 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.14. Croix des Bouquets, 12 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.15. Croix des Bouquets, 12 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.16. Pacot, 15 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.17. Pacot, 15 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.18. Croix des Bouquets, 13 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 2.19. Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake.

Fig. 2.20. Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake.

Fig. 2.21. Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake.

Fig. 2.22. Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake.

Fig. 3.1. http://www.web500.com.br/Bambus_Fotos_Site/Hausbau_mit_Bambus_Payer-10. html

Fig. 3.2. Oscar Hidalgo Lòpez. "Bamboo: The Gift of the Gods." The Author, 2003.

Fig. 3.3. Oscar Hidalgo Lòpez. "Bamboo: The Gift of the Gods." The Author, 2003.

Fig. 3.4. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.5. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

XXI

Fig. 3.6. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.7. A. Gatóo, B. Sharma, M. Bock, H. Mulligan. "Sustainable structures: Bamboo standards and building codes." Article in Engineering

Fig. 3.8. Cap Haitien, 9 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.9. Cap Haitien, 9 dicembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.10. Marmelade, 3 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.11. Kenscoff, 26 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.12. Kenscoff, 26 ottobre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.13. https://www.wynnefarm.org/photos/views-from-farm/dfml1xpgeao2wbcru-96nefvrdq7txv

Fig. 3.14. https://www.wynnefarm.org/photos/views-from-farm/dfml1xpgeao2wbcru-96nefvrdq7txv

Fig. 3.15. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.16. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.17. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.18. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 3.19. Marmelade, 1 novembre 2018.

[foto scattata dall'autore]

Fig. 4.1. Oscar Hidalgo López. "Bamboo: The Gift of the Gods." The Author, 2003.

Fig. 4.2. Oscar Hidalgo López. "Bamboo: The Gift of the Gods." The Author, 2003.

Fig. 4.3. Oscar Hidalgo López. "Bamboo: The Gift of the Gods." The Author, 2003.

Fig. 4.4. Javadian Alireza. Tesi di dottorato: "Composite Bamboo and its Application as Reinforcement in Structural Concrete." ETH Zurich. 2017.

Fig. 4.5. Oscar Hidalgo López. "Manual de costrucción con bambù." Universidad Nacional de Colombia - CIBAM. 1981.

Fig. 4.6. Javadian Alireza. Tesi di dottorato: "Composite Bamboo and its Application as Reinforcement in Structural Concrete." ETH Zurich. 2017.

Fig. 4.7. H. Archila, S. Kaminski, D. Trujillo, E. Z. Escamilla, Kent A. Harries. "Bamboo reinforced concrete: a critical review". Articolo originale. 2018.

Pontificia Universidade Catolica, Rio de Janeiro. 2004.

Fig. 4.8. K. Ghavami. "Bamboo as reinforcement in structural concrete elements."

- **Fig. 4.9.** K. Ghavami. "Bamboo as reinforcement in structural concrete elements." Pontificia Universidade Catolica, Rio de Janeiro. 2004.
- **Fig. 4.10.** CNBH. République d'Haiti. Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications. Edition Janvier 2013
- **Fig. 4.11.** Dr. Shakeel Ahmad, Altamash Raza, and Hina Gupta. "Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Concrete." ICRSET 2014.
- **Fig. 4.12.** Dr. Shakeel Ahmad, Altamash Raza, and Hina Gupta. "Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Concrete." ICRSET 2014.
- **Fig. 4.13.** Bindu M, Narendra B.K, Manjunatha J.K. "A Study on Characteristic Strength of Bamboo Fiber Reinforced Concrete". 2016 IJEDR | Volume 4, Issue 2. International Journal of Engineering Development and Research.

[grafico rielaborato dall'autore]

- **Fig. 4.14.** F.O. Kolawole, O.M. Olugbemi, S.K. Kolawole, A.F. Owa, E.S. Ajayi . "Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material". della Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. 2017.
- **Fig. 4.15.** F.O. Kolawole, O.M. Olugbemi, S.K. Kolawole, A.F. Owa, E.S. Ajayi . "Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material". della Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. 2017.
- **Fig. 4.16.** F.O. Kolawole, O.M. Olugbemi, S.K. Kolawole, A.F. Owa, E.S. Ajayi . "Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material". della Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. 2017.
- **Fig. 4.17.** Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya, and Christin Remayanti N. "The use of bamboo fiber in reinforced concrete beam to reduce crack". AIP Conference Proceedings, 2017.
- **Fig. 4.18.** Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya, and Christin Remayanti N. "The use of bamboo fiber in reinforced concrete beam to reduce crack". AIP Conference Proceedings, 2017.
- **Fig. 4.19.** Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya, and Christin Remayanti N. "The use of bamboo fiber in reinforced concrete beam to reduce crack". AIP Conference Proceedings, 2017.
- **Fig. 4.20.** C. R. Moura, L.V.O.Dalla Valentina, A.J.T. Vieira. "Evaluation of concrete blocks reinforced with bamboo fibers trated with NaOH". Revista Gestão Industrial, 2018.
- **Fig. 4.21.** C.R. Moura, L.V.O. Dalla Valentina, A.J.T. Vieira. "Evaluation of concrete blocks reinforced with bamboo fibers trated with NaOH". Revista Gestão Industrial, 2018.

Foto, schemi e grafici del capitolo 5 sono stati realizzati personalmente durante la fase di sperimentazione.

XXII

BIBLIOGRAFIA

ALIREZA, J. Tesi di dottorato: *Composite Bamboo and its Application as Reinforcement in Structural Concrete*. ETH Zurich. 2017.

ALLENDE, I. L'isola sotto il mare. Feltrinelli. Novembre 2009.

ARCHILA, H., KAMINSKI, S. ET AL. *Bamboo reinforced concrete: a critical review*. "Materials and Structures." Agosto 2018.

BELL, M.S. Toussaint L'Overture: A Biography. New York: Pantheon. 2007.

BERNARD, N. *Les producteurs de blocs de la zone métropolitaine de Port-au-Prince*. Build Change. Aprile 2016.

BILHAM, R. *Lessons from the Hati earthquake.* "NATURE." Vol 463. 18 February 2010. BINDU M., NARENDRA B.K., MANJUNATHA J.K. *A Study on Characteristic Strength of Bamboo Fiber Reinforced Concrete.* 2016 IJEDR | Volume 4, Issue 2. International Journal of Engineering Development and Research.

BOULANGER, B., LAMARCHE, C.P. ET AL. *Analysis of a damaged 12-storey frame-wall concrete building during the 2010 Haiti earthquake.* "Canadian Journal of Civil Engineering." 40(8):791 – 802. Agosto 2013.

BRINK, F.E., RUSH, P.J. Bamboo reinforced concrete construction. U.S. Naval civil engineering laboratory, California. 1966.

C. GREEN J., SCHOENING A., VAUGHN M. Duvalier Regime and immigrant health in the United States. "Annals of health." 2018.

CALTABIANO, I., LACIRIGNOLA, A. Bambù per ideare, sperimentare e costruire. Aracne editrice. 2012.

CAMPIOLI, A., LAVAGNA M. Tecniche e Architettura. CittàStudi. Febbraio 2013.

CÀRDENAS LAVERDE, MAURICIO. *Il bambù come materiale da costruzione*. Sistemi editoriali. 2011.

CNBH. République d'Haiti. Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications. Edition Janvier 2013.

COOK, D., PAMA, R., SINGH, R. *The behaviour of bamboo-reinforced concrete columns subjected to eccentric loads.* "Magazine of concrete Research." 1978.

CORBETT, B. The History of Haiti: Pre-Columbian Hispaniola - Arawak/Taino Indians. 1995.

D. MARSHALL, JUSTIN. Recipe for Disaster: Construction Methods, Materials, and Building Performance in the January 2010 Haiti Earthquake. "Earthquake Spectra." October 2011, Vol. 27, No. S1.

Disaster Risk Management in Latin America and the Caribbean Region: GFDRR Country Notes. Report Number 64260. 2012.

DR. SHAKEEL AHMAD, ALTAMASH RAZA, AND HINA GUPTA. Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Concrete. ICRSET 2014.

XXIII

DUMORTIER, B.C. Analyse des familles des plantes, avec l'indication des principaux genres qui s'y rattachent. Tournay, 1829.

EUI-SUNG YI, MAYNE, THOM. Haiti Now. The Now Institute. 2014.

GASTALDI M., BERTOLINI L. *Introduzione ai materiali per l'architettura*. CittàStudi. Settembre 2011.

GATÓO, A., SHARMA, B. ET AL. *Sustainable structures: Bamboo standards and building codes.* "Engineering Sustainability." Ottobre 2014.

GEYMAYER, H.G., COX, F.B. *Bamboo reinforced concrete*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 1970.

GHAVAMI, K. *Bamboo as reinforcement in structural concrete elements*. Department of Civil Engineering, Pontificia Universidade Catolica, Rio de Janeiro. 2004.

GLENN, H.E. *Bamboo reinforcement in portland cement concrete*. Engineering Experiment Station, Clemson Agricultural College, Clemson, South Carolina, Bulletin No. 4, May 1950.

Global Cement Magazin. "Cement exports to Haiti from Dominican Republic wane." 19 gennaio 2018.

Global Steel Rebars Market 2018 History, Overviews, Demand and Forecast 2023. QY Resarch. Giugno 2018.

Government of Haiti. "Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti: NATHAT." 26 marzo 2010.

HAGGERTY, R.A. *Agriculture*. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

HAGGERTY, R.A. *Colonial Society.* "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

HAGGERTY, R.A. Decades of Instability, 1843-1915. "Haiti: A Country Study."

Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

HAGGERTY, R.A. *Energy.* "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

HAGGERTY, R.A. *Forestry.* "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

HAGGERTY, R.A. *The United States Occupation*, 1915-34. "Haiti: A Country Study." Washington: GPO for the Library of Congress. 1989.

JAMES, C.L.R. The Black Jacobins. New York: Vintage Books. 1963.

JANSSEN, J.J.A. *Designing and building with bamboo*. Technical University of Eindhoven. INBAR, Technical report no. 20. 2000.

KANKAM, J., BEN GEORGE, M., PERRY, S. Bamboo-reinforced concrete beams subjected to third-point loading. "Structural Journal." 1988.

KOLAWOLE, F.O., OLUGBEMI, O.M. ET AL. Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material. Federal University Oye-Ekiti,

XXIV

XXV

Nigeria. 2017.

LÓPEZ, OSCAR HIDALGO. Bamboo: The Gift of the Gods. The Author, 2003.

LÓPEZ, OSCAR HIDALGO. *Manual de costrucción con bambù*. Universidad Nacional de Colombia - CIBAM. 1981.

MCCLURE, F.A. *Bamboo as a Building Material*. U.S. Departement of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Washington, D.C. 1953.

Moura, C.R., Dalla Valentina, L.V.O., Vieira, A.J.T. *Evaluation of concrete blocks reinforced with bamboo fibers trated with NaOH*. Revista Gestão Industrial, 2018.

PECK, MARTIN. Calcestruzzo. UTET Scienze Tecniche. 2008.

Plan Stratégique de Développement d'Haiti. République d'Haiti. Ministère de la Pianification et de la Coopération Externe. 2012.

PRÉPETIT, CLAUDE. *Introduction à l'étude des matériaux de construction d'Haiti*. Editions de l'Université d'Etat d'Haiti, 2009.

SCHIMMER, R. Hispaniola. "Genocide Studies Program." Yale University. 2010.

SCOTT F. DOWELL, JORDAN W. TAPPERO AND THOMAS R. FRIEDEN, M.D.,

M.P.H. *Public Health in Haiti. Challenges and Progress.* "The new England journal of medicine." 2011.

SHARON GUYNUP. Haiti: Possessed by Voodoo. "National Geographic." Luglio 2004.

SHIGEYASU AMADA. Fiber Texture and Mechanical Graded Structure of Bamboo.

Composites: Part B, 28 B. 1997.

Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya, and Christin Remayanti N. *The use of bamboo fiber in reinforced concrete beam to reduce crack*. AIP Conference Proceedings, 2017.

World Bank. "Social resilience and state fragility. A Country social analysis." Report no. 36069 HT. Aprile 2006.

World's Monument Fund. *Preserving Haiti's Gingerbread Houses*. 2010 Earthquake Mision Report. FOKAL. Dicembre 2010.

ZAKIKHANI, ZAHARI ET AL. Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites. "Materials and Design." 63 (2014) 820–828.

SITOGRAFIA

www.aaschool.ac.uk/

[consultato il 05/12/2018]

borgen project. or g/effects-of-the-waste-problem-in-haiti/

[consultato il 04/11/2018]

buildchange.org/

[consultato il 09/10/2018]

www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/

[consultato il 04/11/2018]

countrystudies.us/haiti/

[consultato il 015/03/2019]

data.unicef.org/resources/state-worlds-children-2016-statistical-tables/

[consultato il 04/11/2018]

www.fao.org/home/en/

[consultato il 04/11/2018]

fonkoze.org/

[consultato il 09/10/2018]

gsp.yale.edu/case-studies/colonial-genocides-project/hispaniola

[consultato il 04/11/2018]

www.hdr.undp.org

[consultato il 04/11/2018]

hartford-hwp.com/archives/43a/index-aa.html

[consultato il 15/12/2018]

ihsi.ht/

[consultato il 04/11/2018]

www.iso.org/home.html

[consultato il 18/04/2019]

knoema.com/atlas

[consultato il 04/11/2018]

www.nationalgeographic.com/news/2004/7/haiti-ancient-traditions-voodoo/

[consultato il 09/10/2018]

www.nationsencyclopedia.com/Americas/Haiti.html

[consultato il 09/10/2018]

rezo.ht/

[consultato il 09/10/2018]

www.unocha.org/

[consultato il 04/11/2018]

www.wmf.org/

[consultato il 04/11/2018]

www.worldbank.org/

[consultato il 04/11/2018]

ww1.worldmeters.info/?subid1=febedffc-cbd6-11e9-8d5a-04ff97982232

[consultato il 04/11/2018]

www.wynnefarm.org/

[consultato il 09/10/2018]

XXVI