



## Doctoral Thesis

# Quantification of vegetation root induced cohesion in non cohesive river beds by experiments, monitoring and modeling

**Author(s):**

Pasquale, Nicola

**Publication Date:**

2012

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007562936> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20508

# **Quantification of vegetation root induced cohesion in non cohesive river beds by experiments, monitoring and modeling**

A dissertation submitted to  
ETH Zurich

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
**NICOLA PASQUALE**  
Dipl. Civil Eng. Politecnico di Torino  
born July 14, 1981  
citizen of Italy

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. P. Burlando, examiner  
Prof. Dr. P. Perona, co-examiner  
Prof. Dr. A. Dittrich, co-examiner

2012

# Abstract

River restoration has become a common measure to repair anthropogenically-induced alteration of fluvial ecosystems. The inherent complexity of ecohydrologic systems leads to limitations in understanding the response of such systems to restoration over time. Therefore, in the recent years a significant effort has been dedicated worldwide to document the efficiency of restoration actions and to produce new effective guidelines that may help overcoming existing deficiencies in designing such actions.

At the same time little attention was paid to illustrate the reasons and the use of certain monitoring and experimental techniques in spite of others, or in relation to the specific ecohydrologic process being investigated. In this context, the research project RE.COR.D. (REstored CORridor Dynamics) provided an interdisciplinary framework, which aimed at investigating, by means of extensive field work and modeling, the effects of restoration on several components of river corridor dynamics, from groundwater river quality to river morphology. In particular, the project addressed the morphodynamic evolution of the restored reach of the River Thur near Niederneunforn (Switzerland) is studied, also in relation to the role of pioneer vegetation roots in stabilizing the alluvial sediment. Indeed, the use of riparian tree cuttings for river rehabilitation is widely used and it relies on a good understanding of cutting survival and growth responses to environmental variables.

This work describes the methodology chosen for monitoring the river morphodynamics, the dynamics of riparian and of in-bed vegetation and their mutual interactions, as well as the need of complementing such observations with experiments and with the hydraulic modeling of the site.

A series of experiments aimed at studying the effects of water table fluctuation induced by streamflow variability on the development of below-ground biomass of riparian tree cuttings were performed on the Thur River. Willow cuttings were installed in gravel bar plots at various locations to develop an understanding of how topography and flow variability control cutting root development strategies, which in turn can lead to observed different vertical root density distributions in response to varying forms of tropism. In particular, it is shown how

the transient root growth dynamics eventually create a distribution reflecting the hydrologic conditions experienced towards the end of the growing season.

A scaling relationship is presented that is useful to predict the expected depth with the highest root density as a function of soil topography and river discharge statistics. The results have implications for predicting cutting survival and growth, along with a corresponding strengthening of the alluvial sediment, in different flow regimes.

Finally a model of root reinforcement based on the Shields approach is formulated and validated with data collected from field site experiments. This approach is therefore useful to incorporate in morphodynamic models covering the ecological and hydraulics responses of below-ground biomass to floods.

# Zusammenfassung

Flussrestaurierung ist eine verbreitete Methode, um anthropogene Veränderungen von fluvialen Ökosystemen zu korrigieren. Aufgrund der Komplexität von ökohydrologischen Systemen ist das Verständnis der Entwicklung solcher Systeme im Laufe der Zeit ungenügend. Daher wurde in den letzten Jahren weltweit ein beträchtlicher Aufwand betrieben, die Effizienz von solchen Restaurierungen zu dokumentieren und neue Richtlinien zu erstellen, die helfen sollen, die bestehenden Mängel in solchen Projekten zu beseitigen.

Jedoch wurde die Wahl von bestimmten Beobachtungs- und Experimentiertechniken nicht ausführlich diskutiert und begründet in Bezug auf die spezifischen ökohydrologischen Prozesse, die untersucht werden sollten. In diesem Kontext hat das Forschungsprojekt RE.COR.D. (Restored CORridor Dynamics) ein interdisziplinäres Umfeld geschaffen, in dem anhand von umfangreicher Feldarbeit und Modellierung die Effekte der Restaurierung auf verschiedene Komponenten des Flusssystems, wie zum Beispiel Grundwasserqualität und Flussmorphologie, untersucht werden. Konkret wurde in diesem Projekt die morphodynamische Evolution des restaurierten Abschnitts des Flusses Thur bei Niederneunforn (Schweiz) untersucht. Weiter wurde auch die Rolle des Wurzelgeflechts der Pioniervegetation in der Stabilisierung des alluvialen Sediments untersucht. Die Verwendung von Stecklingen von der Ufervegetation ist in der Flussrestaurierung weit verbreitet und sie erfordert ein detailliertes Verständnis des Wachstums und des Fortbestands der Stecklinge unter Einfluss verschiedener Umweltfaktoren.

In dieser Arbeit beschreiben wir die gewählte Methode zur Beobachtung der Flussmorphodynamik, der Dynamik der Ufer- und Flussbettvegetation und deren Interaktion, sowie die Notwendigkeit solche Beobachtungen mit Experimenten und hydraulischer Modellierung zu ergänzen.

Um die Effekte der Wasserstandsfluktuationen, die durch Abflussveränderung induziert werden, auf die Entwicklung der unterirdischen Biomasse der Stecklinge zu untersuchen, wurde am Fluss Thur eine Serie von Experimenten durchgeführt. Weidenstecklinge wurden an verschiedenen Stellen auf einer Kiesinsel gepflanzt, um zu untersuchen wie Topographie und Abflussvariation die Strategie des Wurzelwachstums beeinflussen. Dies kann zu Unterschieden in der vertikalen

Verteilung der Wurzeldichte führen, als Antwort auf verschiedene Formen von Tropismus. Insbesondere wird gezeigt, wie die Dynamik des Wurzelwachstums zu einer Verteilung führt, welche die hydrologischen Bedingungen am Ende der Wachstumsperiode widerspiegelt. Eine Skalierungsbeziehung wird präsentiert, welche nützlich ist, für die Vorhersage der Tiefe mit der höchsten Wurzeldichte als Funktion von Bodentopographie und Abflussstatistik. Die Resultate sind von Bedeutung für die Vorhersage des Wachstums und Fortbestands von Stecklingen im Zusammenspiel mit der Verstärkung des alluvialen Sediments unter verschiedenen Abflussbedingungen.

Zum Schluss wird, basierend auf dem Shields Ansatz, ein Modell für die Bodenverstärkung durch das Wurzelgeflecht formuliert und anhand der gesammelten Daten validiert. Es ist sinnvoll, diesen Ansatz in morphodynamische Modelle zu integrieren, die die ökologischen und hydraulischen Reaktionen der unterirdischen Biomasse auf Überflutung untersuchen.

# Sommario

La pratica di *restoration* di tratti fluviali è divenuta una misura sempre più diffusa allo scopo di rimediare alle alterazioni antropogenetiche degli ecosistemi fluviali. L'insita complessità dei sistemi eco-idrologici porta a forti limitazioni nella comprensione delle risposte nel tempo agli interventi di *restoration* su tali sistemi. Per tale motivo, negli anni recenti, in tutto il mondo è stato dedicato un significativo impegno per documentare l'efficienza degli interventi di *restoration*, al fine di produrre nuove ed efficaci linee guida che possano aiutare a colmare le lacune esistenti in tale campo. Allo stesso tempo, tuttavia, si è prestata poca attenzione nel cercare di spiegare le ragioni alla base dell'uso di determinate tecniche di monitoraggio o di intervento sperimentali in luogo di altre. Lo stesso dicasi in relazione allo studio e alla valutazione di specifici processi eco-idrologici.

In questo contesto, il progetto di ricerca RE.COR.D. (REstored CORridor Dynamics, vale a dire Dinamiche dei Corridori Fluviali a seguito di interventi di *restoration*) ha fornito una cornice di lavoro fortemente interdisciplinare allo scopo di studiare, per mezzo di estensive campagne di esperimenti *in situ* e di modellazione, l'effetto degli interventi di *restoration* su diverse componenti delle dinamiche fluviali e riparie, dalla qualità delle acque di falda sotterranea alla morfologia fluviale. In particolare, il progetto si focalizza sull'evoluzione morfodinamica del tratto di fiume Thur sottoposto a interventi di *restoration*, nei pressi di Niederneunforn (Thurgau, Svizzera), e in maniera più specifica, in relazione al ruolo svolto delle radici delle specie vegetali pioniere (salici) nello stabilizzare la dinamica dei sedimenti fluviali. Talee di piante provenienti dalla vegetazione riparia sono largamente utilizzate nel campo della rinaturalizzazione e riabilitazione fluviale. Quest'uso fa inoltre affidamento su una buona comprensione della risposta ai fattori ambientali delle talee piantumate.

In questo lavoro vengono descritte le metodologie adottate per monitorare l'evoluzione della morfodinamica fluviale, la dinamica della vegetazione riparia e di quella in alveo e la loro mutua interazione, così come la necessità di accompagnare tali osservazioni con esperimenti e con la modellazione idraulica del sito investigato.

Sul fiume Thur, è stata condotta una serie di esperimenti volti a studiare l'effetto della flut-

tuazione della falda riparia (quindi controllata dalla variabilità del livello d'acqua in alveo) sullo sviluppo della biomassa sotterranea di talee di specie riparie. Talee di salice sono state piantumate, sparse in gruppi su un'isola fluviale in ghiaia allo scopo di studiare come la topografia e la variabilità del livello d'acqua dovuta alla portata influenzino le strategie delle piante nello sviluppo delle radici. Tali strategie possono a loro volta portare ad osservare diverse distribuzioni nella densità delle radici in rapporto alla profondità, come risposta a vari fattori di tropismo. In particolare, si mostra come la dinamica di crescita delle radici, nelle varie fasi di crescita, durante la stagione, possa eventualmente produrre una distribuzione, verso la fine della stagione di crescita, che riflette le condizioni idrologiche susseguitesi nel tempo.

Viene illustrata una relazione di taratura (scaling) molto utile per predire la profondità attesa della massima densità delle radici in funzione dell'elevazione topografica del suolo e delle statistiche di portata del fiume. I risultati hanno notevole importanza nel predire la sopravvivenza e la crescita delle talee di salice, insieme a implicazioni per ciò che concerne il rinforzo di sedimenti alluvionali non coesivi, contro l'erosione, a diversi regimi di portata.

In conclusione viene proposto un modello di rinforzo del terreno da parte delle radici basato sull'approccio di Shields. Il modello viene validato sulla base dei dati raccolti durante gli esperimenti e i rilievi di monitoraggio *in situ*. Questo approccio si rivela quindi molto utile per includere all'interno di modelli morfodinamici la risposta ecologica e idraulica della biomassa sotterranea delle radici rispetto ai fenomeni di piena.