

## Depositi colluviali dell'Appennino tosco-emiliano: studi per la caratterizzazione geotecnica.

Nicola Barbone, Andrea Segalini, Gian Paolo Giani

Università degli studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambiente e Territorio e Architettura, Parco Area delle Scienze, 181 A, 43100 Parma, Tel 0521-905709 Fax 0521-905924, Parma, Italia. nicolabarbone@hotmail.com, andrea.segalini@unipr.it, gianpaolo.giani@unipr.it

**ABSTRACT:** This paper presents a study for the geotechnical characterization of colluvium deposits located in the Tosco-Emiliano Appennines, Italy, responsible of many superficial slides taking place on gently sloping hillsides. This phenomenon are usually slow and due to infiltration of water inside the deposits (in superficial side) forming a saturated layer at the contact with the frequently almost impermeable bedrock; this movements are characterized by planar or circular sliding developing at the contact with the bedrock associated to slow moving earth flows inside the colluvium. The geotechnical characterization of such material is of primary relevance in order to access the stability of these slopes and design remedial intervention. The superficial deposits have different characteristics depending upon the type of rock from which they formed; these are usually flysch formations such as Monte Caio and Solignano Flysch or clayey and sandy formations such as Ostia and Ranzano sandstones. The mechanical feature of the colluvium are strongly influenced by the weight ratio and plasticity of fine grained soil. This is the case of a slope, located near the small town of Piani di Tiedoli, in the Parma Appennines. The geotechnical characterization of the Piani di Tiedoli colluvium are explored in details in this paper along with a tentative generalization of the results.

### Riassunto

Il presente lavoro riguarda la caratterizzazione geotecnica di depositi colluviali largamente presenti nell'Appennino tosco-emiliano e responsabili di un gran numero di fenomeni franosi superficiali o poco profondi su versanti a debole pendenza. Tali fenomeni sono generalmente lenti e composti da colamenti associati a scivolamenti contatto con il substrato roccioso. Il detrito di origine colluviale può avere diverse caratteristiche a seconda delle formazioni rocciose che lo hanno originato. Queste possono essere formazioni fliscioidei come quelle di Monte Caio e Solignano, argille scagliose, varicolori, a blocchi o caotiche e arenarie come quelle di Ostia o di Ranzano. Le caratteristiche meccaniche dei corpi di frana sono quindi fondamentalmente dipendenti dalla presenza dei terreni fini e, in particolare, dalla loro plasticità. Un movimento franoso di questo tipo è quello che interessa il versante "I Piani di Tiedoli", nell'Appennino parmense. La superficie di scivolamento è localizzata al contatto tra le arenarie di San Siro e le breccie tettoniche; su tale superficie si sviluppa il movimento principale di scivolamento al quale risulta associato un movimento di colamento che, partendo da valori minimi alla base del materiale detritico, si configura come significativo contributo agli spostamenti totali nelle aree prossime alla superficie del pendio.

In questo lavoro sono analizzate nel dettaglio le caratteristiche geotecniche del materiale costituente il deposito colluviale de "I Piani di Tiedoli", definendo

successivamente i criteri di scelta degli stessi in relazione alla esecuzione delle necessarie verifiche di stabilità del versante.

### Inquadramento geologico

L'area appenninica della provincia di Parma risente di un gran numero di fenomeni franosi attivi. La relativamente giovane età delle montagne e delle loro strutture geologiche è la causa di rapide modificazioni morfologiche di cui le frane sono le espressioni più evidenti.

Il carattere principale comune dei movimenti franosi lenti in esame dipende dalla storia geologica dell'Appennino settentrionale, e nel caso specifico, dell'Appennino emiliano.

Il fenomeno più importante è infatti quello del sovrascorrimento che ha portato alla sovrapposizione di formazioni rocciose provenienti dal Tirreno, prevalentemente costituite torbiditi, sulle precedenti formazioni alloctone costituite per lo più da complessi argillosi più o meno caotici.

Alla base delle unità formazionali sovrascorse per effetto degli "stress" tettonici si sono ingenerate breccie tettoniche di spessore talora rilevante (decine di metri). L'aspetto caotico di queste breccie ne determina un diverso comportamento idrogeologico (variazioni puntuali di permeabilità) e geomeccanico (variazione del grado di fratturazione del mezzo) che fanno dell'unità litologica un elemento di criticità per le condizioni di stabilità del

versante.

Successivi movimenti per crollo e scivolamento, provenienti dalle pareti delle formazioni rocciose sovrastanti, hanno creato potenti coltri detritiche colluviali (fino a qualche decina di metri nei casi in esame) che, a causa della presenza di materiali fini, determinano caratteristiche meccaniche scadenti. A peggiorare le condizioni di stabilità di questo detrito si aggiunge la presenza di acque di falda che, alimentate dalle rocce serbatoio arenacee o calcaree, filtrano nelle formazioni tettonizzate e determinano pressioni interstiziali nel materiale fine costituente il detrito.

Il movimento a cui si riferisce questo studio è quello

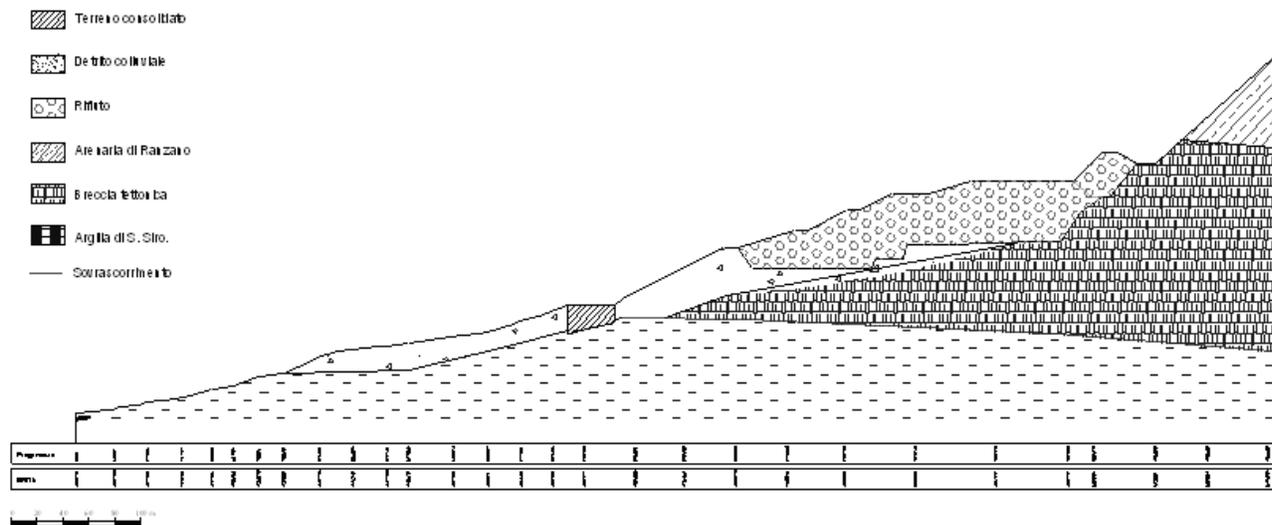


Figura 1 Sezione trasversale del pendio su cui insiste la frana

Il profilo del versante riportato in Figura 1 mostra partendo da monte le arenarie di Ranzano, le breccie tettoniche, il detrito colluviale, il limite di sovrascorrimento (Segalini e Campanini, 2005) e le argille di San Siro. Le caratteristiche del movimento franoso sono state individuate da misure inclinometriche effettuate in fori di sondaggio. È stato possibile individuare un fenomeno di scivolamento e di colamento (Figura 2). Le analisi di stabilità hanno evidenziato che la superficie di scivolamento è posizionata al contatto tra la formazione delle arenarie di San Siro e quella del detrito colluviale. Il materiale detrito di frana è costituito da una frazione argillosa e limosa e da inclusioni di materiale detritico di dimensioni superiori. Il detrito può derivare da formazioni fliscioidei come quelle di Monte Caio e Solignano, argille scagliose, varicolori, a blocchi o caotiche e arenarie come quelle di Ostia o di Ranzano.

### Caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei depositi colluviali dell'Appennino Parmense

La maggior parte dei fenomeni di instabilità e di scivolamento che si verificano in strati con potenza mediamente elevata di materiale colluviale evolvono in due

detto "I Piani di Tiedoli" nel comune di Borgotaro (Parma).

La verifica della stabilità di una discarica di RSU posta all'interno di tale movimento franoso ha reso necessario degli studi approfonditi relativi alla caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso.

Sull'area interessata da tale movimento sono stati realizzati diversi sondaggi a carotaggio continuo in modo da studiare e riprodurre l'andamento delle formazioni litologiche e la potenza dei vari strati insistenti sull'area. Per definire meglio l'andamento delle potenze degli strati sono state realizzate anche indagini di tomografiche e topografiche.

movimenti distinti uno rotativo e l'altro traslativo. In generale essi sono determinati da un flusso di acqua che permea il terreno provocando una liquefazione di questi materiali che a volte può evolvere in Debris Flows.

Tra i fattori che determinano la stabilità dei pendii colluviali (Silde et al., 1985) sono importanti la mineralogia e le condizioni idrauliche del terreno, associati alla geomorfologia del pendio e all'angolo di inclinazione del deposito. Un ruolo secondario ma localmente rilevante può essere quello dell'evapotraspirazione che contribuisce ad incrementare la crescita di arbusti le cui radici più o meno profonde possono aumentare la stabilità del pendio.

Molti studi condotti su terreni colluviali (Ellen e Fleming, 1987) hanno evidenziato che la natura dei movimenti spesso dipende dallo spessore dello strato detritico coinvolto ed il comportamento meccanico evolve frequentemente in movimenti lenti che raramente producono fenomeni di disgregazione e creep.

In genere l'evoluzione dei fenomeni lenti che interessano gli strati colluviali verso fenomeni di debris flow è un evento molto raro nei versanti Appenninici settentrionali e richiede, come illustrato da Howard (1988) che ad una prima rigida translazione lungo il contatto con il

substrato roccioso seguano movimenti di taglio interni al detrito che tendano a modificare il grado di mutuo incastro dei clasti dando luogo ad un comportamento di tipo plastico. Il materiale tenderà conseguentemente a disaggregarsi ed i clasti più grandi inizieranno a fluttuare nel terreno fino ad acquistare una velocità sempre crescente ed a generare un fenomeno di colata. Normalmente le caratteristiche geomorfologiche del Appennino e in particolare di quello parmense non generano fenomeni veloci, le pendenze dei pendii sono, in media, molto basse.

Il verificarsi di fenomeni di scivolamento nei depositi colluviali richiede che ci sia la presenza all'interno dello strato detritico di tenori seppur minimi di argilla. Il contributo della frazione fine fornisce al terreno capacità coesive che riducono in un primo momento la mobilità dei grani e la permeabilità del terreno. La diminuzione della permeabilità crea un stato critico nel terreno soggetto a forze di taglio.

La mobilitazione di un terreno colluviale è in generale dovuta alla percentuale di terreno ed alla struttura del deposito. I depositi colluviali che hanno subito modifiche alla loro struttura originaria possono collassare sotto l'influsso di forze di taglio residue; il valore di tali resistenze residue risulta generalmente molto più basso di quello di picco riscontrabile negli stessi depositi consolidati. Tale resistenza residua si avvicina spesso a quella della porzione fine del deposito stesso. Quando ci si trova in condizioni di elevata saturazione il collasso del terreno diventa generalmente più veloce in quanto alla diminuzione delle caratteristiche di resistenza dei depositi si aggiunge l'incremento delle pressioni interstiziali e la conseguente riduzione delle tensioni efficaci. Il tempo necessario affinché si raggiungano le condizioni che inducono il collasso aumenta con il diminuire della permeabilità del deposito colluviale. In generale le cause di fenomeni di instabilità in depositi di questo tipo sono da ascrivere alla perdita delle caratteristiche coesive della frazione fine dei materiali costituenti il deposito stesso associata ad una basso coefficiente di permeabilità.

### Caratteristiche geotecniche dei depositi colluviali

Gli studi effettuati sullo strato colluviale presente sul versante de "I piani di Tiedoli" hanno evidenziato che la presenza di materiale fine all'interno del deposito raggiunge valori pari al 50% in peso. La porzione argillosa è compresa tra il 20% e 25% del totale in peso. L'indice di plasticità ad essa associabile, ottenuto attraverso la determinazione in laboratorio dei limiti di Atterberg, è compreso tra 9 e 23 con un valore medio di 16,25. I dati del contenuto della frazione argillosa e del valore dell'indice plastico consentono, tramite le correlazioni di Skempton e di Lupini et al. (Lancellotta, 1983), di ottenere valori indicativi dell'angolo di attrito residuo  $\phi'_r$ . Il valore medio ottenuto da queste correlazioni è di 27° (Figura 2).

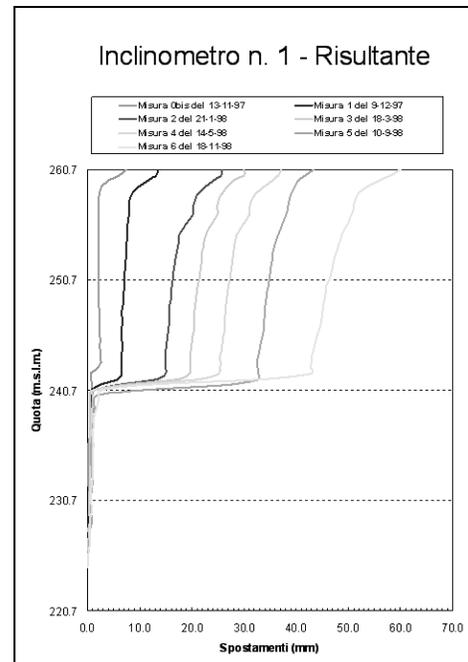


Figura 2 Risultati di misure inclinometriche riferite ad intervalli di tempo regolari. L'esame permette di ricavare la velocità del movimento e il tipo di movimento che nella parte sommatiale è di colata e in quella inferiore è di scivolamento.

Le caratteristiche meccaniche dei terreni colluviali vengono fortemente influenzate dalla presenza di lenti argillose anche di spessore millimetrico. Si è reso necessario effettuare uno studio più dettagliato del materiale fine del detrito colluviale.

I campioni sono stati prelevati in sito tramite carotaggio continuo; non è stato possibile effettuare campionamenti nel corpo della discarica per non forare le membrane protettive e modificare i percorsi di flusso del percolato. L'area investigata è quella posta lungo il perimetro della discarica. Le prove sono state effettuate per gli strati colluviali posti alla profondità di 28 metri dal piano campagna. Le prove effettuate sono di classificazione del materiale e prove di taglio diretto per misurare l'angolo di resistenza residuo e la coesione a differenti tensioni di consolidazione. I parametri ottenuti potranno essere utilizzati per le analisi di stabilità del pendio e per il calcolo del fattore di sicurezza.

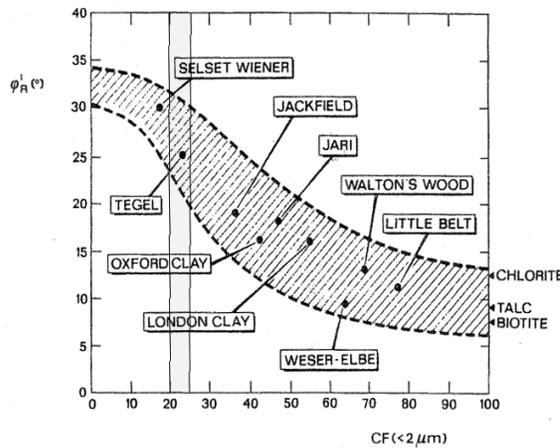
Per il terreno fine il limite liquido WL è uguale a 33,68% con un indice di plasticità IP pari a 11,23% utilizzando la carta di Plasticità di Casagrande possiamo definire il terreno come argille inorganiche di media plasticità.

Le prove di taglio diretto sono state condotte su campioni ricostruiti in laboratorio. La ricostruzione del campione è avvenuta utilizzando un banco di consolidazione.

Per la ricostruzione dei campioni si è utilizzata solo la frazione fine dello strato colluviale procedendo a una prima vagliatura al setaccio 0,475 mm. Il passante è stato fatto

asciugare in forno e successivamente impastato con acqua. La quantità di acqua da aggiungere al campione secco è pari a 1.5 volte il limite liquido, quindi 100 g di terreno secco sono stati miscelati con 52 g di acqua.

Il terreno così ottenuto è stato posto all'interno di un



consolidometro realizzato in plexiglas. Il flusso di acqua all'interno di tale strumento è monodimensionale ed avviene solo verticalmente. L'acqua permea attraverso la carta filtro e le pietre porose.

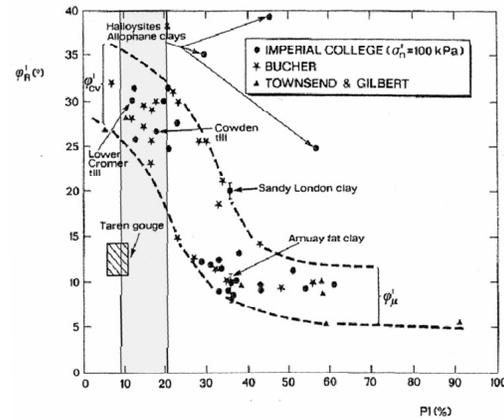


Figura 3 Variazione di  $\phi'r$  con il contenuto d'argilla (a sinistra) e con l'indice di plasticità (a destra), (Lancellotta, 1987). La banda gialla evidenzia i valori dei campioni raccolti a Tiedoli.

La consolidazione avviene tramite l'applicazione di un carico verticale pari a circa la metà del valore della tensione geostatica agente in sito; questa fase è da considerarsi terminata quando il terreno non subisce ulteriori abbassamenti tra due letture successive ed il tempo medio stimato affinché si possa considerare il provino consolidato è mediamente di 24 ore.

La fase successiva consiste nell'effettuare le prove di taglio diretto sul campione ricostruito. I campioni ricostruiti hanno altezza pari a 23 mm diametro pari a 60 mm. Per limitare gli effetti del disturbo sul campione, il provino viene inserito nella scatola di taglio immerso in acqua e sottoposto ad una prova consolidata drenata. La durata della fase di consolidazione nella scatola di taglio è di 24 ore. Durante questa fase è possibile determinare i valori di  $C_v$  (coefficiente della consolidazione primaria) utilizzando la costruzione di Taylor, e il tempo  $t_{90}$  corrispondente al 90% della consolidazione del campione.

La fase di taglio avviene a velocità costante determinata in funzione del tempo  $t_{50}$ , necessario al provino per consolidare del 50% e nel nostro caso risulta pari a 0.01 mm/min. La prova può ritenersi terminata quando lo spostamento orizzontale supera il 20% del diametro originario o, comunque, al raggiungimento di una rottura fragile del campione.

Si è proceduto in modo analogo anche su campioni ricostruiti costituiti da materiale più fine, passante al setaccio 0.075 mm, ed i dati così ottenuti sono stati confrontati con i precedenti (Tabella 1).

Gli inviluppi di rottura, sia per il campione passante al setaccio con diametro 0.0425 mm sia per il campione passante a quello con diametro 0.075 mm, sono analoghi. Dai diagrammi riportati di seguito si evince un angolo di

resistenza al taglio di picco pari a circa  $18^\circ$  mentre la coesione è praticamente nulla. L'angolo di resistenza al taglio residuo risulta invece pari a  $10^\circ$  (Figura 4).

Tabella 1 Risultati sperimentali delle prove di Taglio su campioni ricostruiti.

Campione Passante al setaccio	Indice di Plasticità	Angolo di attrito di picco	Angolo di Resistenza residuo	Coesione
0.425 mm	11.23 %	$18.24^\circ$	$10.5^\circ$	5 kPa
0.075 mm	11.45 %	$18.5^\circ$	$10.3^\circ$	0 kPa

I risultati ottenuti sperimentalmente, che tengono conto solo della resistenza a taglio della frazione fine, si discostano da quelli ipotizzati utilizzando la correlazione grafica di Skempton e di Lupini. D'altra parte il movimento, in considerazione della configurazione morfologica del versante e della stratigrafia riscontrata dai sondaggi, può avere luogo solo assumendo come unica componente della resistenza al taglio quella dovuta all'attrito della sola frazione fine in condizione prossime a quelle residue.

Ai fini della stabilità del versante è necessario considerare la pressione interstiziale che tende a crescere, anche se debolmente, in periodi maggiormente piovosi quando si ha un debole innalzamento della falda.

La superficie di falda nella situazione attuale è condizionata dagli alti livelli piezometrici presenti nella roccia serbatoio (più 60 m rispetto al profilo del pendio sul detrito) costituita dalle arenarie di Ranzano e dalle sottostanti breccie tettoniche. Ai fini della stabilità del versante è necessario considerare la pressione interstiziale

che tende a crescere, anche se debolmente, in periodi maggiormente piovosi quando si ha un debole innalzamento della falda.

La superficie di falda nella situazione attuale è

condizionata dagli alti livelli piezometrici presenti nella roccia serbatoio (più 60 m rispetto al profilo del pendio sul detrito) costituita dalle arenarie di Ranzano e dalle sottostanti breccie tettoniche.

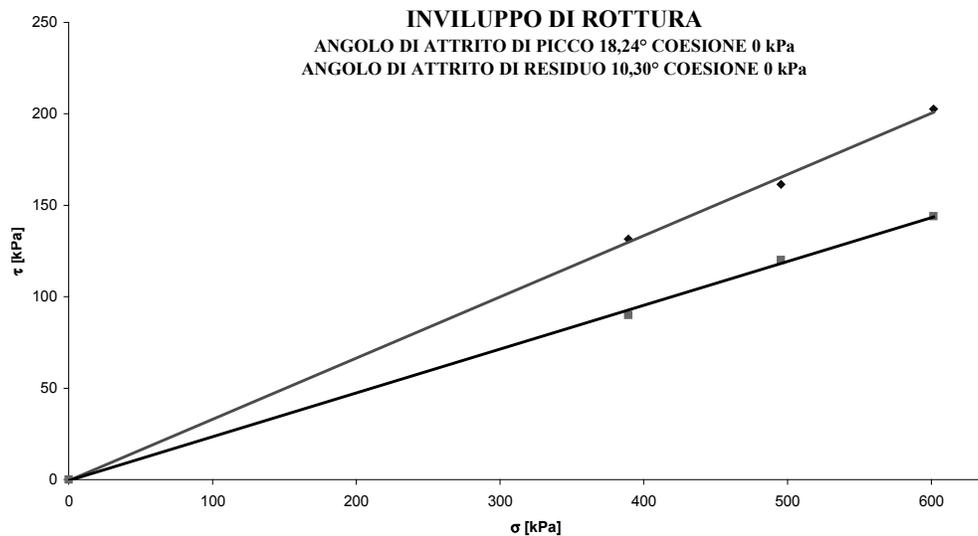


Figura 4 Inviluppi di rottura di picco (rombi) e residui (quadrati).

## Bibliografia

Di Molfetta A. (2002), *Ingegneria degli acquiferi*, Politeco, Torino.

Ellen S. D. and Flemming. 1987. Mobilization of Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and mitigation. *Reviews in Engineering Geology*, Vol.7 Geological Society of America, Boulder, COLO. Pp.31-40.

Ellen S. D., S. H. Cannon, and S.L. Reneau. 1988. Distribution of Debris Flows in Marin Country. In *Landslides, Floods, and Marine Effects of the Storm of January.1982, in the San Francisco Bay Region, California*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1434, 310

pp.

Fleming R. W. and A. M. Johnson. 1994. *Landslides in Colluvium*. U.S. Geological Survey Bulletin 2059.

Giani G., Tesi di Laurea : *Analisi del meccanismo evolutivo di frane lente e studio di un possibile intervento per migliorarne la stabilità*. 2004.

Giani G. P., Segalini A., Tagliavini S. 1999. *Indagini e studi per il progetto di consolidamento di un versante su cui insiste una discarica di RSU*. XX Convegno nazionale di Geotecnica. Parma pp. 481-488.

Lancellotta R. (2004), *Geotecnica*, Zanichelli, Bologna.

*Landslides: investigation and mitigation*, special report 247, Washington 1996, pp 525-549.

Silde R.C., A.J. Pearce and C.L.O'Loughlin. 1985. *HILLSLOPE Stability and Land Use*. Water Resources Monograph 11. American Geophysical Union, Washington, D.C., 140 p.p.

Kakou B. G., Shimizu H., S. Nishimura *Residual Strength of Colluvium and Stability Analysis of Farmaland Slope*. 2001 *Agricultural Engineering International: CIGR. Journal of Scientific Research and Development*.