

# MONITORAGGIO DI COLATE DETRITICHE MEDIANTE IL SENSORE MICROSOFT KINECT

## MONITORING OF DEBRIS FLOWS USING THE MICROSOFT KINECT SENSOR

D. Pagliari <sup>a\*</sup>, D. Passoni <sup>a</sup>, L. Pinto <sup>a</sup>

<sup>a</sup> DICA-Dept. of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milano  
(diana.pagliari, daniele.passoni, livio.pinto)@polimi.it

**PAROLE CHIAVE:** Kinect, RGB-IR, Depth maps, Calibrazione, Colate detritiche

**KEY WORDS:** Kinect, RGB-IR, Depth maps, Calibration, Debris flows

### RIASSUNTO

I settori della modellazione 3D e del motion tracking sono in continuo e rapido sviluppo; una recente e forte accelerazione si è avuta grazie al ramo dei videogiochi. Per rispondere alla crescente domanda di videogiochi sempre più interattivi, Microsoft ha lanciato sul mercato il controller remoto per Xbox360, che permette di interagire con la console semplicemente con l'uso di voce e gesti. Il sensore Microsoft Kinect è composto da una camera RGB, una camera ad infrarossi (NIR) e un proiettore IR (che proietta un pattern pseudo-casuale), un array di microfoni, un tilt motor e un accelerometro triassiale. A seguito del rilascio da parte di terze parti, e della stessa Microsoft, di librerie e Software Development Kits, molti ricercatori dei più svariati settori si sono interessati all'impiego del Kinect come una piattaforma multisensore a basso costo, grazie anche al fatto che può essere remotamente controllato con un Personal Computer. Il Kinect integra al suo interno anche una depth camera che permette di misurare distanze con un elevato frame rate (fino a 30 fps), con una risoluzione nominale di 1 mm, nel range 0,80 - 4,00 m. Questa caratteristica, congiuntamente al costo contenuto, pari a qualche centinaia di euro, rende tale sensore molto interessante per un'ampia varietà di applicazioni geomatiche. All'interno del presente articolo è discusso l'utilizzo del Kinect per lo studio dello sviluppo di colate detritiche, fenomeno che è stato riprodotto in scala all'interno del laboratorio di idraulica "G. Fantoli" del Politecnico di Milano. In particolare vengono approfondite le informazioni geometriche che il Kinect può fornire in merito all'avanzamento del fronte d'onda della colata e alla sua forma.

### ABSTRACT

The sectors of 3D modeling and motion tracking are in continuous and rapid development: a recent boost has been caused by the videogames industries. In order meet the growing demand for increasingly interactive video games, Microsoft has launched a remote controller for Xbox 360, allowing users to interact with the console simply with the use of voice and gestures. The Kinect sensor consists of an RGB camera, an IR camera (NIR) and an IR projector (that projects a pseudo-random pattern), a microphone array, a tilt motor and a tri-axial accelerometer. Following the release of libraries and Software Development Kits, by third parties as well as Microsoft itself, many researchers from different fields started to use the Kinect as a low cost multi-sensor platform. The Kinect can be simply remotely controlled using a Personal Computer. It integrates also a depth camera, allowing measuring distances with a high frame rate (up to 30 fps), with a nominal resolution of 1 mm, in the range from 0.80 to 4.00 m. This feature, together with the cost (few hundreds Euros), makes this sensor very attractive for a wide variety of geomatic applications. In this paper, the use of Kinect for the study of the development of debris flows is discussed. The phenomenon has been reproduced in scale in the hydraulic laboratory "G. Fantoli" of the Politecnico di Milano. In particular, the additional geometric information that this sensor can provide are detailed, with respect to wave front and shape.

### 1. INTRODUZIONE

Nei settori della modellazione 3D e del motion tracking si è recentemente verificato un impulso nello sviluppo dei sensori che permettono una elevata interazione tra utente e videogioco. Per rispondere a questa esigenza sempre più crescente, nel Novembre 2010, Microsoft ha lanciato sul mercato il controller Kinect, per la sua piattaforma Xbox360. Diversamente dagli altri controller sul mercato, quali il Nintendo Wii Remote o il Sony PlayStation Move, il Kinect permette all'utente di interagire e controllare la console con il solo uso di voce e gesti, senza dover utilizzare alcun tipo di dispositivo aggiuntivo.

Esso è composto da una camera RGB, una camera ad infrarossi (NIR), un proiettore IR (che proietta un pattern pseudo-casuale), un tilt motor, un accelerometro triassiale e un array di microfoni: tutti i sensori sono collocati all'interno dello stesso alloggiamento. Il tilt motor permette al Kinect, in fase di gioco, di regolare automaticamente la propria inclinazione, con lo scopo di inquadrare al meglio il giocatore. Qualora esso sia gestito remotamente da Personal Computer, è possibile impostare un angolo a piacere nel range  $\pm 27^\circ$ .

Poco dopo il rilascio sul mercato del Kinect, il sistema è stato violato da parte di hacker, che hanno permesso lo sviluppo e la diffusione di una serie di librerie dedicate al suo controllo remoto da computer. Nel giugno 2011 anche Microsoft ha

rilasciato il suo Software ufficiale Development Kit (SDK) per lo sviluppo di programmi e applicazioni basati sui dati acquisiti dal Kinect. Per il lavoro discusso all'interno del presente articolo si è scelto di utilizzare le librerie ufficiali Microsoft.

La possibilità di utilizzare il Kinect come una piattaforma multisensore a basso costo ha attratto da subito una grande quantità di ricercatori, appartenenti a settori molto differenti, dalla Robotica (El-Iaithy et al, 2012, Oliver et al, 2012) alla Computer Vision (Han et al., 2013), dall'Ingegneria Biomedica (Alnowami et al, 2012, Guevara et al, 2013) sino all'Archeologia (Richards-Rissetto et al., 2012). Per quanto concerne il settore della modellazione 3D sono invece molto interessanti le Librerie Fusion (Izadi et al, 2011), rilasciate per la prima volta da Microsoft nel Marzo 2013: esse permettono di ricostruire in real-time il modello poligonale di un oggetto o un piccolo ambiente indoor semplicemente muovendo il sensore nello spazio.

Il maggiore inconveniente del sensore Microsoft è la bassa qualità dei dati acquisiti dal sensore e la loro bassa ripetibilità: ad esempio, confrontando fra loro le differenti depth maps acquisite senza muovere il Kinect è frequente che ci siano misure differenti, nell'ordine di 0,01-0,02 m, che corrispondono alle dimensioni del pixel sull'oggetto, se non addirittura buchi nelle informazioni acquisite.

All'interno del presente articolo viene discussa la possibilità di impiego del Kinect per lo studio di fenomeni di tipo idraulico, riprodotti in scala. In questo contesto il Kinect rappresenta una alternativa a basso costo, molto interessante soprattutto in ragione dell'elevato frame rate al quale è in grado di acquisire dati. Esso si colloca come uno strumento ottimale per il monitoraggio di fenomeni molto rapidi, per i quali anche l'informazione di profondità (non acquisibile utilizzando una singola telecamera) ricopre un ruolo importante. Si veda ad esempio (Tortini et al., 2014).

Il resto dell'articolo è organizzato come segue: nel paragrafo 2 sono discusse le caratteristiche del Kinect per Xbox360 e la calibrazione dei sensori ottici che lo compongono. Nel paragrafo 3 viene brevemente introdotto il fenomeno delle colate detritiche inziali ed è presentato il test effettuato in laboratorio. Il test qui discusso non è rivolto a indagare i fenomeni che regolano le colate detritiche, né fornire risultati di tipo idraulico circa tale fenomeno; il nostro scopo è invece quello di dimostrare che l'impiego di un sensore quale il Kinect permette di acquisire informazioni geometriche (quali le depth maps) con un frame rate tale da permettere uno studio di fenomeni cinematici molto rapidi, nell'ambito delle distanze limite alle quali il Kinect può acquisire dati.

## 2. IL SENSORE MICROSOFT KINECT E LA CALIBRAZIONE DEI SENSORI OTTICI

Il Kinect è una camera 3D attiva, sviluppata da Microsoft e dalla compagnia israeliana PrimeSense come dispositivo di controllo per la console di videogiochi Xbox360. Il successo del dispositivo in svariati settori della ricerca è supportato dal continuo sviluppo e rilascio gratuito di librerie e SDK, nonché dal suo basso costo, nell'ordine di qualche centinaia di euro a seconda della specifica versione.

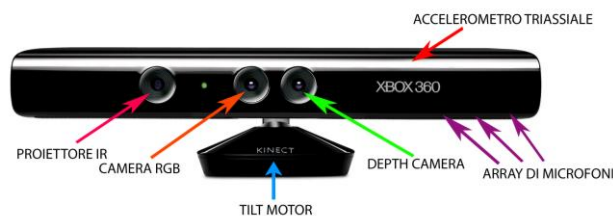


Figura 1. I sensori che compongono il Microsoft Kinect

I sensori ottici del Kinect sono una camera RGB e una camera IR (NIR), che svolge anche il duplice ruolo di sensore di profondità (vedi Figura 1). La camera RGB è un sensore CMOS Aptina MT9M112, caratterizzata da una risoluzione massima pari a 1280x1024 pixel; con tale risoluzione i dati possono essere acquisiti a 12 Hz, mentre qualora si utilizzi una risoluzione più bassa (pari a 640x480 pixel) le immagini possono essere acquisite a 30 fps. La camera IR opera solo a 30 Hz, acquisendo immagini a 1200x960 pixel: i dati grezzi così acquisiti sono poi automaticamente sottocampionati alla risoluzione 640x480 pixel (Cruz et al., 2012). Le immagini IR e le depth maps sono acquisite, utilizzando le librerie Microsoft, come immagini a 16 bit. In Tabella 1 sono riportate le specifiche tecniche dei sensori ottici del Kinect.

	RGB camera	IR camera
Tipo sensore	Aptina MT9M112 CMOS	Aptina MT9M001 CMOS
Dimensione sensore [mm]	3,58x2,87	6,66x5,32
Dimensione pixel [ $\mu$ m]	2,8	5,2
Formato immagine raw [pixel]	1280x1024	1200x960
Formato immagine output [pixel]	1280x1024 640x480	640x480
Focale nominale [mm]	2,9	6,0
FOV H [gradi]	63	57
FOV V [gradi]	50	45

Tabella 1 – Specifiche tecniche dei sensori ottici del Kinect

Microsoft ha rilasciato due differenti versioni della prima generazione di Kinect: dapprima esso è stato venduto solo come controller per la console Xbox360, ma nel Febbraio 2012 è stata rilasciata una nuova versione, nota come Kinect per Windows. Il SDK Microsoft è ufficialmente disponibile per quest'ultima versione, ma può essere ugualmente utilizzato anche con la versione per Xbox360. L'unica differenza sostanziale tra i due sensori è il loro range operativo, qualora essi siano utilizzati come sistemi per la misura della distanza. Il Kinect per Windows è in grado di misurare distanze tra 0,35 e 4,00 m, mentre la versione per Xbox360 richiede una distanza minima tra sensore e oggetto pari a 0,80 m. Essi si differenziano anche per il costo: la versione per Windows è acquistabile solo attraverso il Microsoft Store a 249 euro, mentre la versione per Xbox360 è facilmente reperibile in negozi di elettronica ad un costo di circa 80 euro.

Per l'applicazione discussa all'intero del presente articolo è stata impiegata la versione per Xbox360. Si noti come entrambe le tipologie di sensore richiedano una alimentazione esterna quando sono controllate via Personal Computer.

## 2.1 Calibrazione geometrica delle camere RGB e IR

I sensori ottici del Kinect sono stati calibrati utilizzando il software commerciale PhotoModeler (versione 2012.2.1.779). Dato che il numero di frame acquisiti dal sensore è particolarmente elevato, è stata realizzata una interfaccia grafica che permetta di controllare il sensore e mostrare a schermo lo streaming dei dati acquisiti. In questo modo è stato possibile ruotare e traslare il Kinect nella posizione desiderata, acquisendo solo i fotogrammi utili ai fini della calibrazione (ad esempio che inquadrino completamente il pannello di calibrazione - vedi Figura 2).

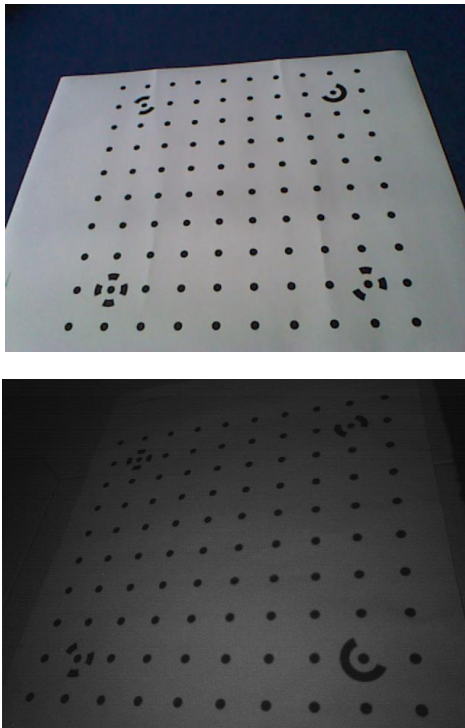


Figura 2. Il pannello di calibrazione acquisito con la camera RGB (sopra) e la camera (IR) del Kinect per Xbox360. Per l'acquisizione delle immagini IR è stata oscurato il proiettore, in modo che il pattern proiettato non influenzasse la ricerca automatica dei target.

Il software è stato realizzato in linguaggio C#, integrando le funzioni del SDK ufficiale Microsoft. La procedura di calibrazione è stata ripetuta sia per la camera RGB che IR; in quest'ultimo caso il proiettore IR è stato coperto in modo da evitare che il pattern proiettato potesse interferire con l'algoritmo automatico di ricerca dei target implementato nel software PhotoModeler.

In Tabella 2 e Tabella 3 sono riportati i parametri di Orientamento Interno (OI) stimati.

Kinect – camera RGB		
Parametri OI		
	Valore	Dev.St.
Focale [mm]	3,099	2,0e-03
Larghezza sensore [mm]	3,58	
Altezza Sensore [mm]	2,87	
Larghezza immagine [pixel]	640	
Altezza immagine [pixel]	480	
Punto Principale X [mm]	-0,040	9,2e-04
Punto Principale Y [mm]	-0,020	1,0e-03
Parametri aggiuntivi		
$K_1$	-1,366e-03	9,1e-05
$K_2$	7,857e-04	1,7e-05
$P_1$	-1,518e-04	2,9e-05
$P_2$	-9,514e-04	3,2e-05

Tabella 2: Parametri di OI, stimati in fase di calibrazione, per la camera RGB del Kinect

Kinect – camera IR		
Parametri OI		
	Valore	Dev.St.
Focale [mm]	6,497	3,0e-03
Larghezza sensore [mm]	6,66	
Altezza Sensore [mm]	5,32	
Larghezza immagine [pixel]	640	
Altezza immagine [pixel]	480	
Punto Principale X [mm]	-0,005	2,03e-03
Punto Principale Y [mm]	-0,004	3,0e-03
Parametri aggiuntivi		
$K_1$	-1,795e-03	4,3e-05
$K_2$	-8,337e-05	2,5e-06
$P_1$	1,835e-04	2,1e-05
$P_2$	2,538e-04	2,2e-05

Tabella 3: Parametri di OI, stimati in fase di calibrazione, per la camera IR del Kinect

## 2.2 Principio di misura della distanza

Il Kinect è un sistema a luce strutturata a basso costo: il proiettore IR emette una immagine pseudocasuale sulla scena ripresa, sfruttando la tecnologia nota come speckle pattern (Shpunt e Zalvesky, 2008); la camera IR cattura il pattern riflesso e calcola per ognuno dei pixel il valore della distanza tra camera e oggetto, usando il principio della triangolazione. In pratica i dati raccolti dalla camera IR sono correlati con dei modelli di riferimento del pattern, salvati all'interno della memoria del sensore e ottenuti dal produttore acquisendo immagini IR di una superficie piana posta a distanza nota. La quantità osservata è la disparità, ovvero lo shift necessario per poter correttamente correlare il pattern acquisito dalla depth camera con il modello di riferimento. Utilizzando dei generici parametri di focale e baseline tra camera e proiettore (definiti dalla casa madre per un generico Kinect) il valore di disparità viene convertito in un valore di distanza tra sensore e oggetto. Tali valori non sono accessibili e modificabili, almeno per l'SDK Microsoft utilizzato per i test illustrati all'interno del presente articolo; inoltre tali librerie forniscono come risultato direttamente la distanza, senza richiedere all'utente alcun tipo di conversione e senza permettere, a quest'ultimo, di intervenire all'interno del processo stesso di conversione. Dettagli circa il sistema di misura della distanza e le equazioni utilizzate per la conversione disparità/profondità si trovano in (Khoshelhan, 2011).

### 2.3 Analisi dei dati acquisiti dai sensori ottici del Kinect

Con lo scopo di definire le precisioni che caratterizzano i dati misurati dal Kinect sono state statisticamente analizzate le informazioni acquisite dai diversi sensori ottici. In particolare, per ognuno dei sensori ottici, sono stati acquisiti 100 fotogrammi senza muovere il controller Microsoft. Poiché le immagini sono acquisite a 30 Hz è ragionevole assumere che non si siano verificate variazioni nelle condizioni ambientali (ad esempio delle variazioni di illuminazione e di temperatura) durante l'esecuzione del test. Visto il breve intervallo temporale nel quale avviene l'acquisizione dei dati, è ragionevole ipotizzare che non vi siano neanche variazioni legate alla temperatura interna del sensore: come dimostrato da (Fielder e Müller 2012), dopo un primo periodo di assestamento a seguito dell'accensione del Kinect, l'influenza della temperatura sulle distanze misurate è un effetto di lungo periodo, legato principalmente all'accensione e allo spegnimento della ventola di raffreddamento.

I dati della camera RGB sono stati acquisiti alla risoluzione più bassa (640x480 pixel) in modo da essere completamente comparabili con quelli acquisiti dalla camera IR. Tali dati sono stati poi trattati statisticamente: per ognuno dei pixel corrispondenti sulle 100 immagini sono state calcolate media e deviazione standard. Per le immagini RGB i calcoli sono stati svolti considerando separatamente i tre canali che compongono l'immagine. In Figura 3 sono mostrate le mappe di colore che rappresentano le deviazioni standard.

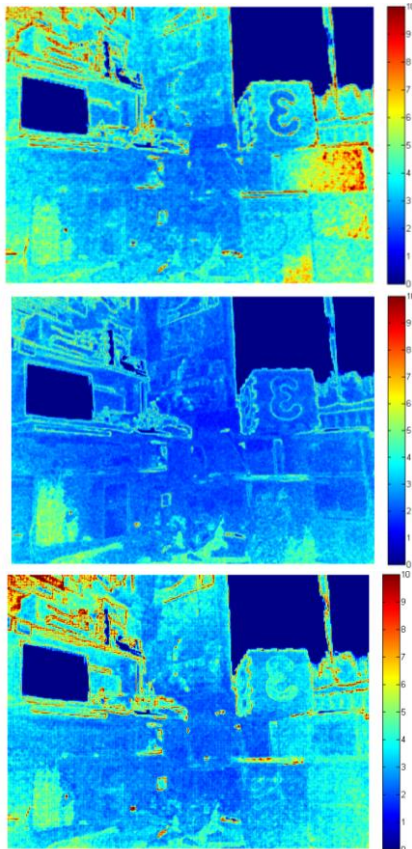


Figura 3. Deviazione standard calcolata considerando i pixel corrispondenti su un campione di 100 immagini RGB (in alto-canale rosso, in centro-canale verde, in basso-canale blu). La scala di colori rappresenta le deviazioni standard espresse in toni di grigio

Analizzando le mappe di colore in Figura 3 è facilmente individuabile una certa variazione dei livelli di intensità registrati, soprattutto in corrispondenza dei bordi degli oggetti. È interessante notare come il canale verde sia caratterizzato da variazioni di minore intensità, probabilmente a causa del fatto che nello schema di Bayer gli elementi sensibili alla luce verde sono doppi rispetto a quelli sensibili alla luce blu o rossa. La stessa analisi è stata eseguita anche per le immagini IR (vedere Figura 4). Si noti come in questi casi i dati siano salvati come immagini a 16 bit (che corrispondono a 65536 toni di grigio).

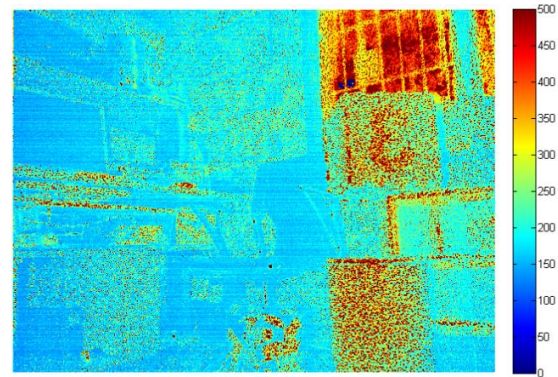


Figura 4. Deviazione standard calcolata considerando i pixel corrispondenti su un campione di 100 immagini IR. La scala di colori rappresenta le deviazioni standard espresse in toni di grigio

Il SDK Microsoft permette di accedere ai dati di distanza misurati dal Kinect, espressi in millimetri e con una risoluzione nominale di 0,001 m. Anche in questo caso sono state calcolate la media e la deviazione standard considerando ognuno dei pixel corrispondenti sulle cento immagini acquisite. Nel caso dei dati di profondità il sensore restituisce spesso dei valori nulli, qualora non sia in grado di effettuare la correlazione tra i pattern e, conseguentemente, calcolare la distanza: tutti i valori appartenenti a questa categoria sono stati rimossi dalle analisi statistiche di seguito presentate. In Figura 5 è riportata la mappa di colore che rappresenta le deviazioni calcolate a partire dalle depth maps. Si può notare come i contorni degli oggetti non siano ben definiti, mostrando variazioni nell'ordine di qualche centimetro; inoltre sono presenti alcune bande verticali, probabilmente dovute all'algoritmo di matching implementato all'interno delle librerie Microsoft per il calcolo della disparità. Effetti simili erano stati già evidenziati in lavori precedenti: si veda ad esempio (Chow e Litchi, 2013) e (Menna et al., 2011).

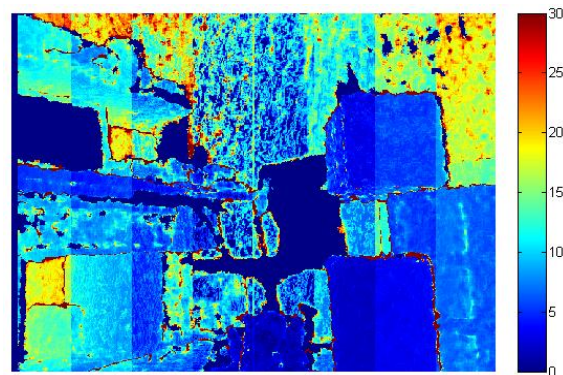


Figura 5. Deviazione standard [mm] calcolata per ognuno dei pixel corrispondenti delle immagini di profondità acquisite dalla camera IR

## 2.4 Correzione delle misure di profondità

La depth camera del Kinect è in grado di acquisire distanze comprese nel range 0,80-4,00 m. Poiché la baseline tra il proiettore IR e la camera IR è molto ridotta (pari a circa 0,074 m) è importante quantificare l'errore commesso dal sensore quando viene utilizzato come sistema per la misura della distanza. Per questa ragione è stata realizzata una procedura di calibrazione con lo scopo di determinare l'errore commesso dal Kinect in funzione della distanza tra sensore e oggetto. Durante questa fase il Kinect è stato posto a distanze note da un piano di riferimento e le profondità misurate dal sensore sono state confrontate con quelle di riferimento, ottenute con un distanziometro laser (avente una risoluzione di 0,002 m). Le depth maps acquisite in fase di rilievo sono state corrette sottraendo ad ogni pixel l'errore stimato in funzione della distanza. Tale correzione, dell'ordine di qualche centimetro, significativa già per le minime distanze di utilizzo del Kinect, si è dimostrata efficace e di rapida esecuzione, utile per ottenere modelli 3D più corretti. A tal proposito di veda Pagliari et al. (2013).

## 3. IL FENOMENO DELLE COLATE DETRITICHE

Con il termine colate detritiche inerziali (debris flow) si intende un miscuglio di acqua e particelle che discendono un pendio a causa dell'azione della forza di gravità. Il miscuglio è composto in proporzioni variabili da fango e acqua; esso è particolarmente instabile e disomogeneo, a causa all'elevata concentrazione di frammenti di roccia di varie dimensioni e forme e, mentre discende lungo il pendio, accumula e trascina con sé una cospicua quantità di materiale. A causa di fenomeni quali l'urbanizzazione dell'ambiente montano, l'abbandono dei terreni coltivati e una diversa regimazione delle acque dovuta ai cambiamenti climatici, la frequenza delle colate detritiche inerziali è notevolmente aumentata, rendendo questi fenomeni un rischio considerevole per la vita umana.

### 3.1 Riproduzione in scala del fenomeno delle colate detritiche

Presso il laboratorio di Idraulica Gaudenzio Fantoli del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) del Politecnico di Milano è stata realizzata una struttura che permette di riprodurre in scala il fenomeno delle colate detritiche inerziali, che si generano a seguito della rimozione di un'opera di ritenuta (dam-break).

L'opera è composta da un canale rettangolare, avente fondo fisso e scabro: la larghezza e la pendenza del canale possono essere variate, così come l'altezza iniziale del materiale o il suo grado di saturazione. Il problema delle colate detritiche inerziali è stato ampiamente studiato per quanto riguarda le condizioni estreme (colata di sola acqua e di materiale secco). L'apparecchiatura messa a punto dalla sezione di Idraulica del DICA del Politecnico di Milano permette di valutare tale fenomeno con diversi gradi di saturazione, simulando colate sovrassature, sature o insature (Berzi, 2012).

Il canale ha lunghezza pari a 6 metri e altezza interna pari a 0,50 m (vedi Figura 6). La sezione del canale può essere variata grazie alla presenza di sponde mobili: nel corso del test qui discusso la larghezza del canale è stata fissata pari a 0,07 m. L'intera struttura poggia su dei tubi d'acciaio e una cerniera orizzontale, posta in corrispondenza della sezione di monte del canale, permette la regolazione della pendenza.

La sezione del canale è costituita sul fondo da una lastra di acciaio zincato, sulla quale possono essere montate delle lastre scabre in PoliVinilCloruro (PVC) di larghezza variabile. Una sponda del canale è costruita da una lastra di acciaio zincato, mentre l'altra sponda è dotata di quattro finestre che permettono di seguire l'evoluzione del fenomeno. La paratoia è collocata a metà circa del canale: tale localizzazione è stata scelta per evitare fenomeni di riflessione delle onde. La sua apertura è controllata da un pistone pneumatico, alimentato da un compressore.



Figura 6. Il canale utilizzato per la simulazione del fenomeno delle colate detritiche inerziali per la

In Figura 7 si riporta una rappresentazione schematica della canaletta e del principio del suo funzionamento

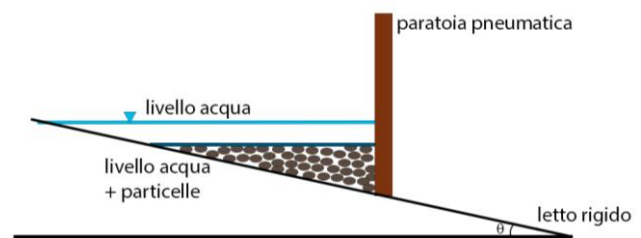


Figura 7. Schema di funzionamento della canaletta

La colata detritica viene simulata utilizzando del materiale granulare, non coesivo, composto da cilindretti di PVC di colore bianco, blu e nero, mischiati tra loro in proporzioni definite. Il materiale è caricato a monte della paratoia, creando una superficie orizzontale. Il materiale è stato scelto sulla base delle caratteristiche geotecniche, riassunte in Tabella 4.

Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1440
Diametro equivalente [mm]	3,3
Diametro caratteristico omogeneo D <sub>50</sub> [mm]	4
Permeabilità [m/s]	1,41
Angolo di attrito interno [°]	26

Tabella 4. Parametri granulometrici e meccanici del materiale

Attualmente le informazioni acquisite circa l'evoluzione spaziotemporale del fenomeno sono ottenute dalle immagini acquisite da una telecamera digitale (Bossi, 2011). Essa può essere posta al di sopra del canale o lateralmente allo stesso. Dalle immagini così acquisite sono ricavati rispettivamente il fronte della colata o il profilo della superficie, utilizzando l'algoritmo di Edge Detection, basato sull'algoritmo di Canny (1986), implementato in Matlab®.

### 3.2 Test con il sensore Kinect

Con l'obiettivo di poter ottenere informazioni aggiuntive circa l'altezza della colata detritica, il Kinect è stato installato al di sopra della canaletta ad una altezza di circa 1,6 m (Figura 8) e immagini RGB e depth maps sono state acquisite simultaneamente con una frequenza pari a 30 fps (Figura 9).

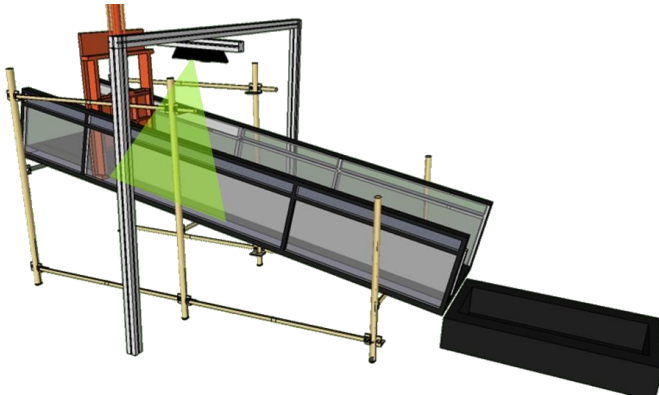


Figura 8. Rappresentazione schematica della canaletta e della localizzazione del Kinect durante il test

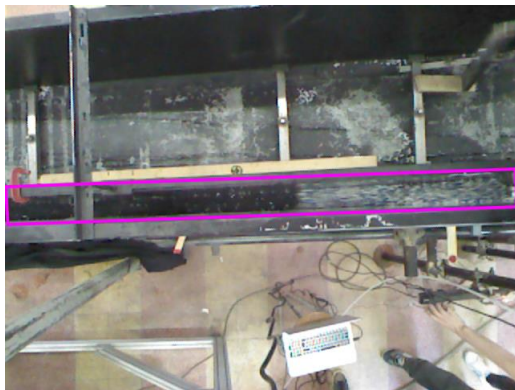


Figura 9. Esempio di immagine RGB (sopra) e depth map (sotto) acquisite con il Kinect. All'interno del rettangolo è evidenziata la zona della canaletta utilizzata per la simulazione della colata detritica durante il test

I dati estraibili dalle depth maps permettono di ottenere una serie di informazioni aggiuntive, utili per lo studio dello sviluppo del fenomeno delle colate detritiche, quali ad esempio dei profili longitudinali (Figura 10) o delle sezioni perpendicolari al moto del materiale (Figura 11). I profili calcolati a partire dalla depth maps sono però caratterizzati da

una informazione molto discretizzata, causata dalla forte rumorosità dei dati acquisiti dal sensore: essi sono comunque utili per definire l'andamento generale della colata simulata.

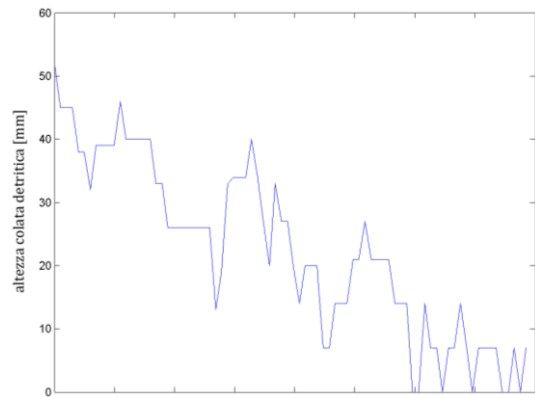


Figura 10. Esempio di profilo lungo la direzione di moto ottenibile dalle depth maps acquisite dal Kinect

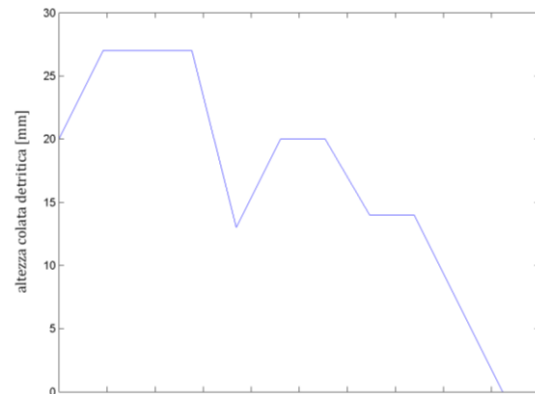


Figura 11. Esempio di sezione perpendicolare alla direzione di moto ottenibile dalle depth maps acquisite dal Kinect

In Figura 12 sono rappresentate, nella colonna di sinistra, le immagini RGB in formato binario; esse permettono di identificare facilmente il fronte d'onda della colata detritica. Nella parte destra della medesima figura è rappresentata l'evoluzione del fenomeno come differenza tra la depth map istantanea e quella acquisita all'istante iniziale, appena prima dell'apertura della paratoia.

### 4. CONCLUSIONI

All'interno del presente articolo è stata discussa la possibilità di impiegare, per applicazioni di tipo idraulico, un dispositivo nato come controller di una console di videogiochi, utilizzandolo come sistema a triangolazione a basso costo. Proprio perché il Kinect non nasce come uno strumento di misura, i dati acquisiti da tale sensore sono molto rumorosi: esso è però in grado di eseguire misure con un'elevata frequenza. I risultati possono quindi essere migliorati, soprattutto per applicazioni di modellazione 3D, mediando i dati acquisiti. L'elevata frequenza con la quale sono effettuate le misure rende il Kinect molto interessante anche come sistema di monitoraggio di fenomeni molto rapidi, quale ad esempio lo studio di una colata detritica riprodotta in scala.

Durante i test svolti il Kinect è stato posto al di sopra di un canale a sezione rettangolare, utilizzato per lo studio

dell'evoluzione delle colate detritiche inerziali, innescate a seguito della rimozione di un'opera di ritenuta. È stato quindi possibile acquisire oltre alle immagini RGB anche delle immagini di profondità, permettendo di tracciare simultaneamente al fronte della colata anche l'altezza della stessa. Il vantaggio dell'impiego di un sensore come il Kinect è principalmente quello di permettere di ricostruire in modo continuo le altezze della colata e di disporre di profili lungo una qualunque sezione della colata stessa. In precedenza, la ricostruzione del profilo è stata eseguita ponendo la telecamera a lato del canale, ma bisogna sottolineare che in questo caso debbano svolgersi due riprese separate (una dall'alto, per ricostruire il fronte della colata, e una a lato, per determinare il profilo) e che il profilo tracciabile sia solo uno, ovvero quello visibile dalla finestra laterale. Utilizzando il Kinect, invece, si

possono ricavare dei profili per qualunque sezione di interesse, fatto molto importante per elevate pendenze del canale; in questo caso infatti le velocità di avanzamento del materiale sono differenti a causa del diverso attrito tra le particelle: la colata avanza più velocemente al centro, dove viene meno l'attrito dovuto alle pareti laterali. Il più grande inconveniente legato all'impiego del Kinect è la sua forte rumorosità: questo problema può però considerarsi parzialmente risolto qualora si impieghi la nuova versione Kinect for XboxOne. Questo nuovo sensore si basa su un diverso principio di misura della distanza (a discriminazione di fase) e da una serie di test preliminari esso appare molto più stabile e accurato rispetto alla precedente versione.



Figura 12. Evoluzione del fenomeno della colata detritica. Nella colonna a sinistra sono mostrate le immagini binarie (ottenute a partire dalle immagini RGB), mentre nella colonna a destra le differenze tra depth maps, espresse in mm. L'intervallo temporale tra due immagini è pari a circa 0,2 secondi

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Alnowami, M., Alnwaimi, B., Tahavori, F., Copland, F., Wells, K., 2012. A quantitative assessment of using the Kinect for Xbox360 for respiratory surface motion tracking, Proc. SPIE 8316, Medical Imaging.
- Berzi, D., Bossi, F.C., Larcán, E., 2012. Collapse of granular-liquid mixtures over rigid, inclined beds. *Physical Review E* 85, 051308.
- Bossi, F.C., 2011. Indagine sperimentale su collate di materiale detritico secco. Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Facoltà di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano.
- Canny, J., 1985. A Computational Approach To Edge Detection. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 8(6):679–698
- Chow, J. C., & Lichti, D. D. 2013. Photogrammetric Bundle Adjustment With Self-Calibration of the PrimeSense 3D Camera Technology: Microsoft Kinect. *Access, IEEE*, 1, 465-474.
- Cruz, L., Lucio, D., Velho, L., 2012. Kinect and RGB-D Images: Challenges and Applications. 5th SIBGRAPI-J conference on Graphic Patterns and Image Tutorials (SIBGRAPI-T). pp 36-29. doi: 10.1109/SIBGRAPI-T.2012.13.
- El-Iaithy, R.A., Jidong Huang, J., Yeh, M., 2012. Study on the use of Microsoft Kinect for robotics application. *Position Location and Navigation Symposium (PLANS), IEEE/ION*, Vol, no., pp. 1280-1288.
- Fieder, D., Müller, H., 2012. Impact of Thermal and Environmental Conditions on the Kinect sensor", *Proc. Int. Workshop Depth Image Analysis*
- Guevara, D.C., Vietri, G., Prabakar, M., Jong-Hoon Kim, 2013: Robotic Exoskeleton System Controlled by Kinect and Haptic Sensors for Physical Therapy. *Biomedical Engineering Conference (SBEC)*, pp.71-72.
- Han, J., Shao, L., Xu, D., Shotton, J., 2013: Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor: A Review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol 43(5).
- Izadi, S., Kim, D., Hilliges, O., Molyneaux, D., Newcombe, R., Kohli, P., Shotton, J., Hodges, S., Freeman, D., Davison, A., Fitzgibbon, A., 2011. KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'11)*.
- Khoshelham, K., 2011. Accuracy analysis of Kinect depth data. *Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. 38(5/W12).
- Menna, F., Remondino, F., Battisti, R., Nocerino, E., 2011. Geometric investigation of a gaming active device, *Proc. SPIE 8085, Videometrics Range Imaging and Applications XI*, <http://dx.doi.org/10.0.1117/12.890070>.
- Oliver, A., Kang, S., Wunsche, B. C., MacDonald, B., 2012. Using the Kinect sensor as a navigation sensor for mobile robotics. *Proc. 27<sup>th</sup> Conference on Image and Vision Computing*, pp. 509-514. doi:10.1145/2425836.2425932.
- Pagliari, D., Menna, F., Roncella, R., Remondino, F., Pinto, L., 2014. Kinect Fusion improvement using depth camera calibration. *ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-5, pp. 479-485. *ISPRS Commission V Symposium*. 23–25 June 2014, Riva del Garda, Italy.
- Richards-Rissetto, H., Remondino, F., Agugiaro, G., Robertsson, J., von-Schwerin, J., Girardi, G., 2012: Kinect and 3D GIS in archaeology. *Proc. 18th IEEE Intern. Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM)*, G. Guidi / L. Addison (Eds.), pp. 331-338. Milan, Italy.
- Shpunt, A., Zalvesky, Z. 2008. Depth-varying light fields for three dimensional sensing, *US. Patent 20080106746 A1*, 8 maggio 2008
- Tortini, R., Bonali, F. L., Corrazzato, C., Cam, S.A., Tibaldi, A., 2014. An Innovative application of the Kinect in Earth Science: quantifying deformations in analogue modelling of volcanoes. *Terra Nova*, Vol. 26, Issue 4, pp.273-281,