



DECOMMISSIONING CIVILE E INDUSTRIALE

INGEGNERIA CIVILE - AMBIENTALE
A.A. 2019 - 2020

eRwOrx.



DE Department of
Engineering
Ferrara

LE RINFUSE SOLIDE



DE Department of
Engineering
Ferrara

Una categoria di sostanze di cui ci si deve spesso occupare affrontando una attività di decommissioning, indipendentemente dalla classe chimica a cui appartengono, è quella dei materiali polverulenti e granulari eventualmente presenti nel sito.



DE Department of
Engineering
Ferrara

Il motivi sono sostanzialmente due:

1. quasi tutte le polveri vegetali e minerali sono potenzialmente esplosive (soprattutto se si trovano stoccate in un ambiente confinato);
2. gli stoccaggi in mucchio e gli insilati sono soggetti a fenomeni di instabilità che possono provocare franamenti e distacchi che possono causare nubi di polveri potenzialmente esplosive, ma anche lo schiacciamento o il seppellimento dei lavoratori.



DE Department of
Engineering
Ferrara

Un materiale alla rinfusa può genericamente essere definito come un materiale che si trova in uno stato incoerente, le cui particelle elementari possono trovarsi in forma polverosa, granulare, in pezzatura irregolare, in scaglie o in fibre e che una volta immesso in un contenitore di qualsiasi forma e dimensione (stiva, silo, fossa, ecc.) tende ad occuparne, sotto l'effetto della gravità, l'intero volume; se stoccato in piazzale tende ad assumere la forma “a mucchio”.



Sebbene i materiali polverosi e i materiali in pezzatura appaiano visivamente molto diversi tra loro, rientrano entrambi nella generica definizione di materiale granulare.

Semplificando al massimo, tutte le rinfuse solide possono essere classificate come “granulari” non essendo definiti con precisione né un limite dimensionale né limiti di forma relativamente alla singola “particella elementare”.



In letteratura molto spesso viene definito “granulare” semplicemente un insieme di particelle solide di forma non precisata e di dimensioni sufficientemente grandi da impedire fluttuazioni o moti termici; in alcuni casi viene fissato un limite dimensionale minimo, riferito alle particelle, al di sotto della quale si ritiene che la materia non possa assumere proprietà colloidali (questo limite è frequentemente fissato pari a $1\ \mu\text{m}$).



In sintesi le caratteristiche dei materiali granulari potrebbero essere ricondotte alle seguenti proprietà:

- sono soggetti a mescolamento non omogeneo (fenomeno comunemente detto “segregazione”);
- non sono soggetti a moti turbolenti;
- non sono ricompattabili in un insieme di granuli e poi deformabili senza che si disgreghi l’insieme precedentemente compattato;
- possiedono caratteristiche anisotrope e di non omogeneità;
- sono soggetti a franamenti e a formazione di valanghe;
- variano la loro fluidità a seconda della velocità di movimento delle particelle;
- non possiedono una forma propria, ma tuttavia acquisiscono solo in parte la forma del contenitore in cui vengono immessi;
- esercitano una pressione sulle pareti del contenitore differente da quella (lineare) caratteristica dei liquidi.



Al contrario di quanto generalmente accade per i gas e i vapori e per diverse sostanze liquide, raramente la presenza di polveri viene percepita come un potenziale pericolo nei confronti dei lavoratori nonostante una quantità enorme di sostanze in polvere sia da considerarsi esplosiva e gli stoccaggi siano soggetti a forte instabilità e franamenti.



DE Department of
Engineering
Ferrara

Gli impianti di scarico e movimentazione delle rinfuse presenti nei siti abbandonati non sono più funzionanti né è pensabile di ripristinarli; occorre quindi organizzare le operazioni di rimozione del contenuto residuo con metodi manuali e semi-manuali e spesso con l'ausilio di specialisti (ad esempio con personale che opera utilizzando sistemi su corde in sospensione o sistemi di sollevamento meccanici).



Lo schiacciamento e il soffocamento rappresentano rischi non trascurabili poiché scorrendo le statistiche relative agli infortuni in ambiente confinato quelli correlati al franamento o distacco dalle parti o delle rinfuse granulari sono secondi, per frequenza e gravità, solamente a quelli provocati dalle atmosfere sottossigenate e tossiche.



Tra le rinfuse potenzialmente presenti nei silos che più frequentemente capita di trovare si possono elencare le seguenti:

- cereali e altri prodotti vegetali grezzi o semiraffinati (grano, mais, riso, caffè, cacao, ecc.);
- prodotti alimentari raffinati (farina, semola, zucchero, amido, ecc.);
- frutta secca e assimilati;
- materiali plastici (in pellets e granulari);
- materiali metallici ferrosi e non ferrosi (da miniera, semilavorati o riciclati);
- prodotti farmaceutici (principi attivi, eccipienti, ecc.);



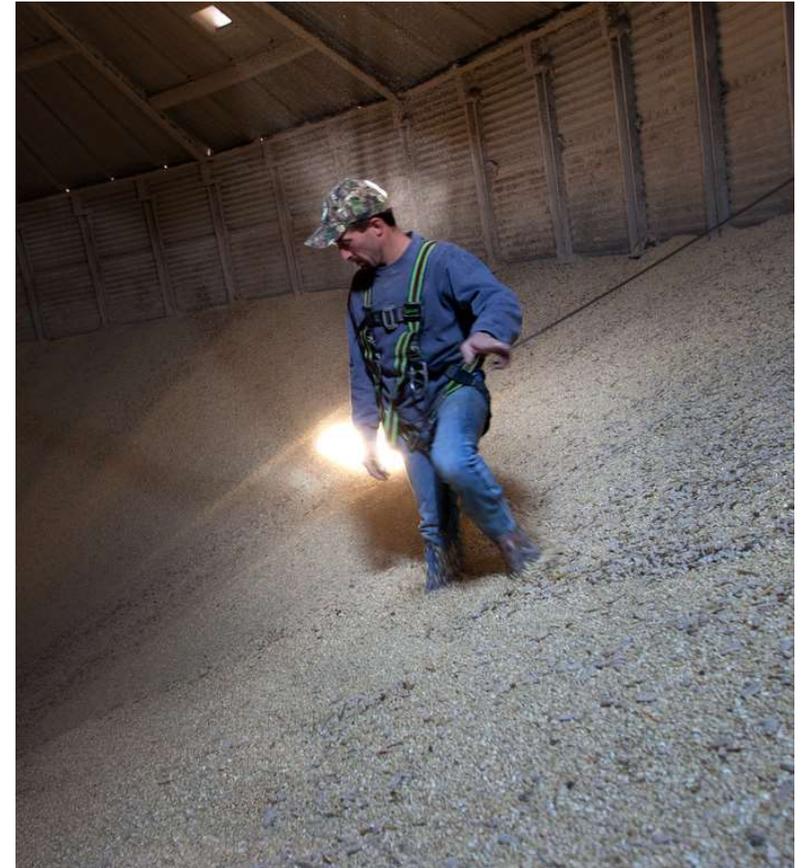
- prodotti chimici industriali (intermedi e finali);
- minerali (carbone, bauxite, zolfo, ecc.);
- materiali vetrosi (in pellets);
- inerti (sabbia, ghiaia, roccia frantumata, ecc.);
- cemento;
- derivati e scarti del legno (in pellets e granulari);
- materiali frantumati derivanti da demolizione;
- fertilizzanti;
- biomasse.



Nel tempo, oltre ad avere perduto qualsiasi valore economico, molto spesso è subentrata una variazione nelle caratteristiche chimico-fisiche dei prodotti; l'umidità, che può dare luogo a processi ossidativi o di carbonatazione e processi fermentativi possono provocare sostanziali variazioni nel comportamento delle masse stoccate per quello che riguarda la loro scorrevolezza, primo indice di pericolosità caratteristico di questa categoria di materiali.



E' proprio la parziale adattabilità all'ambiente in cui vengono immerse a costituire un primo segnale indicatore di una instabilità non trascurabile. E' evidente che la problematica nasce nel momento in cui un operatore dovesse incautamente entrare all'interno di un silos o di una stiva di carico o si inerpicasse su un cumulo di materiale stoccato in un piazzale



Definire un modello comportamentale di validità generale per tutte le tipologie di rinfuse è relativamente facile, salvo il fatto che il comportamento reale è molto spesso influenzato, con differenti esiti a seconda del tipo di rinfusa, da un cospicuo numero di fattori; entro certi limiti, molte sostanze granulari tendono a comportarsi come le terre o come i manti nevosi.



DE Department of
Engineering
Ferrara

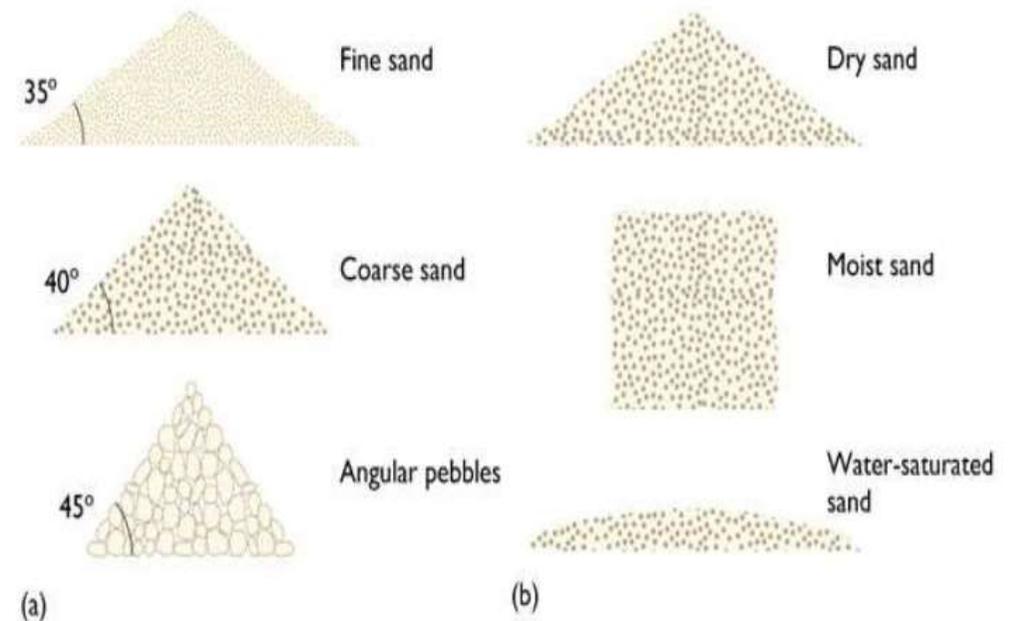
In generale, tutti i materiali sfusi, quando sono liberi di fluire sotto l'effetto della gravità depositandosi su un piano orizzontale, tendono ad assumere un profilo conico la cui apertura alla base (detta angolo di declivio) aumenta progressivamente; una volta raggiunta una certa apertura della base del cono, il materiale, inizia a franare e il valore dell'angolo di declivio si stabilizza; maggiore è l'angolo che il profilo conico forma rispetto al piano orizzontale e maggiore è la stabilità dell'accumulo, cioè la tendenza a non franare.



La stabilità di una rinfusa è caratterizzata non solo da proprietà intrinseche del materiale, ma anche da fattori esterni caratteristici della modalità di stoccaggio e, in generale, dell'ambiente; ad esempio un materiale maggiormente compattato (in cui gli interstizi occupati dall'aria sono più ridotti) o maggiormente igroscopico, tende ad essere più stabile, cioè a iniziare lo scorrimento ad angoli di declivio naturale più elevati.



L'angolo di declivio ha un significato in particolare per gli accumuli in piazzale o in silos orizzontale, mentre gli stoccaggi in silos verticale presentano altre problematiche sebbene sempre correlate a problemi di scorrimento della massa.



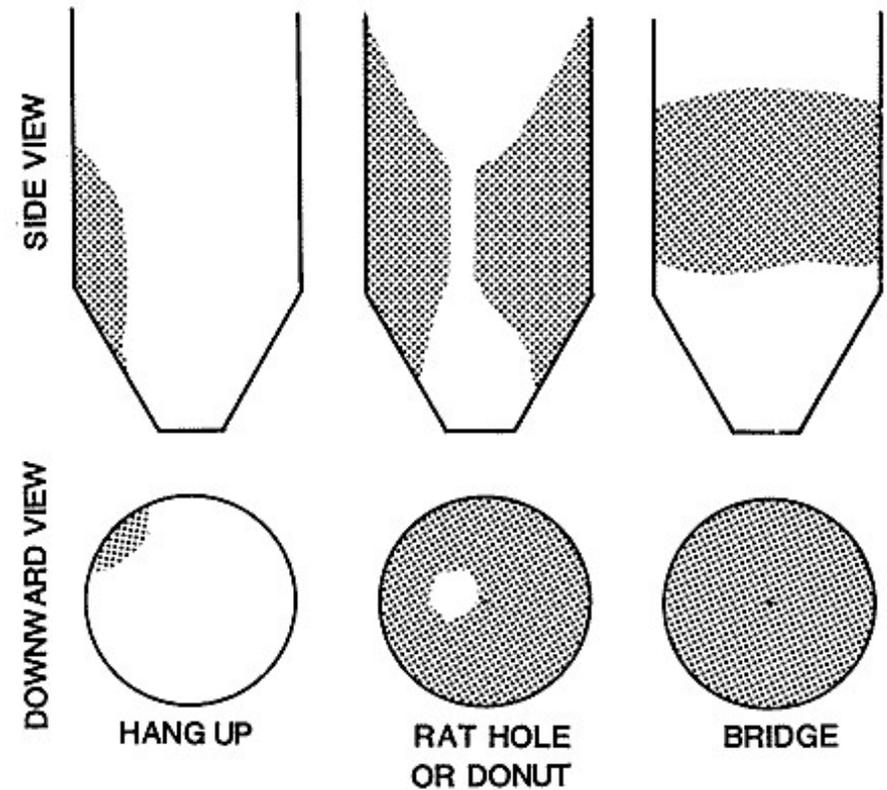
Tra le cause più frequenti che originano l'agglomerazione dei materiali incoerenti insilati vi è l'umidità presente all'interno; come negli accumuli in piazzale o in silos orizzontali l'effetto è sempre quello di favorire l'adesione dei granuli del materiale soprattutto se abbinata a reazioni di fermentazione; ma ad una adesione anomala può seguire un improvviso franamento



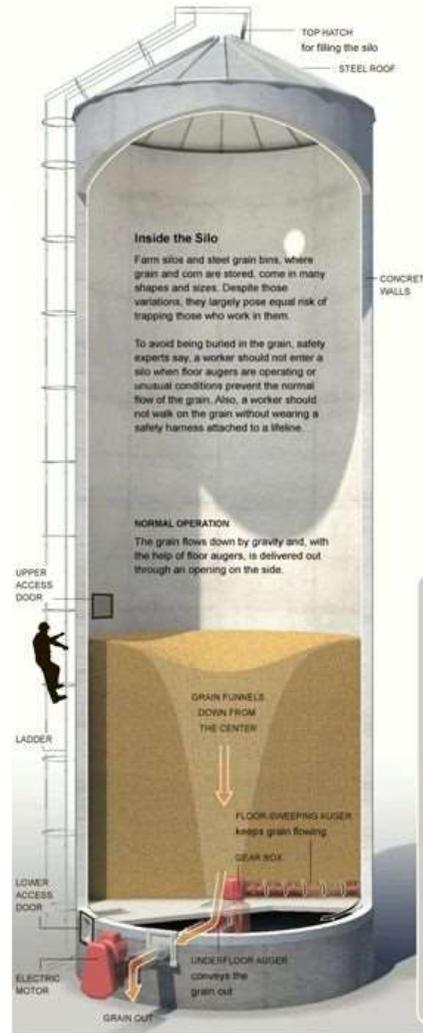
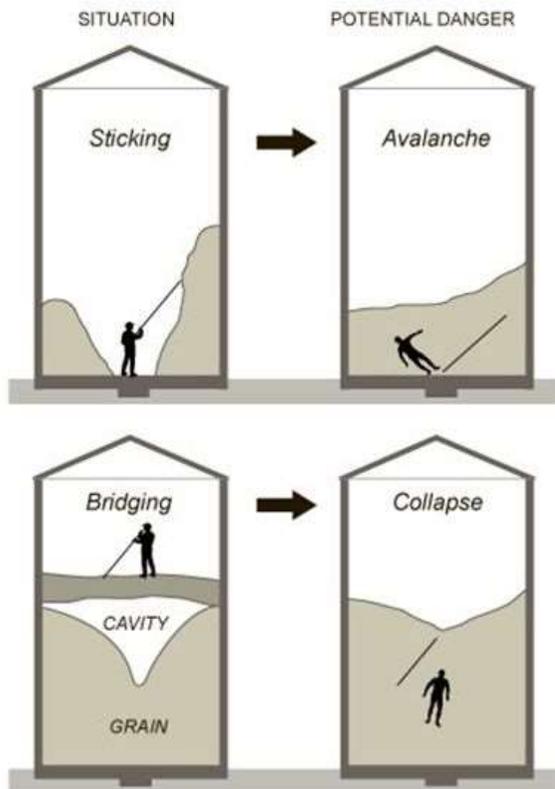
Nei silos a sviluppo verticale questo fenomeno avviene con maggior frequenza nella parte superiore (a contatto con l'aria presente nello spazio libero sovrastante il materiale stoccato) o in corrispondenza delle pareti (dove sono frequenti i fenomeni di condensazione dovuti agli sbalzi termici); nel primo caso possono originarsi masse compatte che perdono qualsiasi proprietà di scorrevolezza, mentre nel secondo caso possono crearsi aderenze alle pareti dalla conformazione caratteristica.



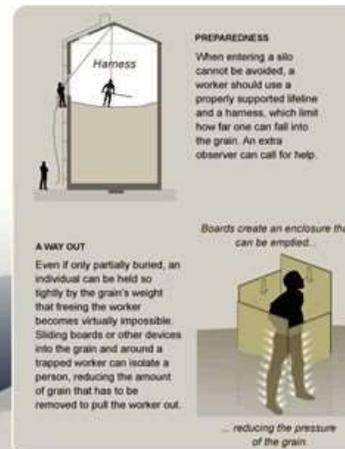
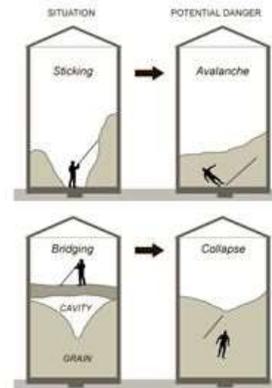
A causa di queste aggregazioni e delle non omogenee caratteristiche di scorrimento della massa del materiale, può accadere che nel tempo vengano a formarsi volumi cavernosi, anche di grandi dimensioni, non rilevabili ad un esame visivo.



Inside the Silo



ENTERING THE DANGER ZONE
Damp or damaged grain can stick to the walls of the silo or create a crust, or bridge, that needs to be broken loose to make the grain flow again. This has led to fatal entrapments of workers who entered silos to loosen grain. Often, they are buried within seconds.

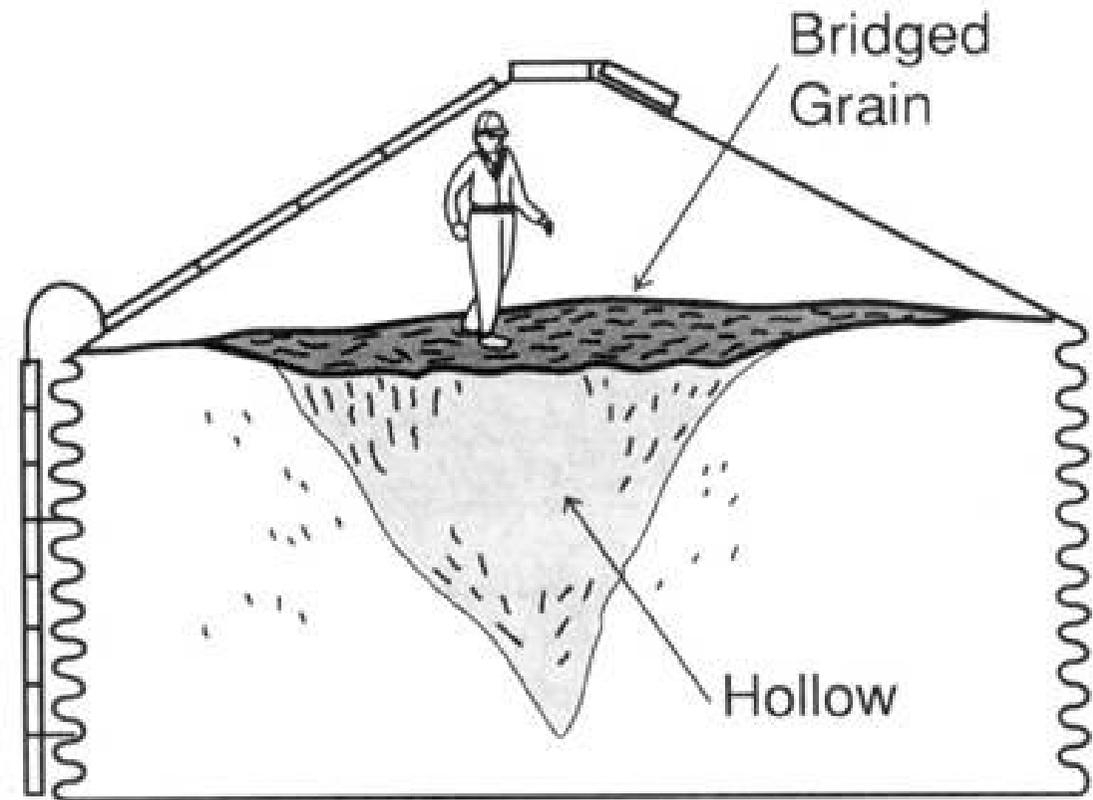


Tra i fenomeni tipici si citano l'arching (formazione di una cavità a sviluppo orizzontale caratterizzata da una "volta" superiore con convessità rivolta verso l'alto), il bridging (formazione di una cavità di forma simile alla precedente, ma in una zona prossima alla superficie superiore dell'accumulo e di dimensioni e profondità superiori a quella dell'arching), il piping o funnelling (una cavità interna generalmente profonda a forma di colonna o di imbuto), le dead pocket (accumuli di materiale in corrispondenza del dispositivo di scarico sul fondo del silos in genere caratterizzati da angoli di declivio molto superiori a quelli teorici del materiale) e le hung-up (formazione di volumi più o meno estesi di materiale aderente alle pareti).

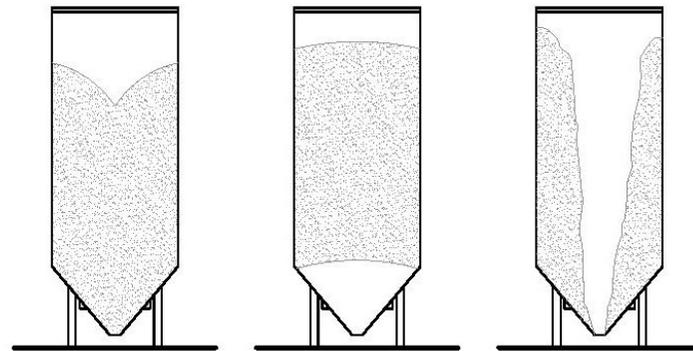


La resistenza della volta superiore dell'accumulo può, in alcuni casi, risultare molto elevata, mentre in altri casi potrebbe cedere sotto il peso di una persona o sotto l'effetto di una azione meccanica di rottura (mediante una pertica, un utensile vibrante, ecc.).

Nel caso di molti prodotti, questi improvvisi crolli generano un effetto di fluidificazione del materiale che può comportare improvvise accelerazioni nel deflusso e la formazione di atmosfere polverose, localmente esplosive.



In generale i fenomeni di bridging, arching e funnelling sono più tipici dei materiali granulari a pezzatura più grossolana mentre hang-up e dead pocket sono fenomeni tipici dei materiali caratterizzati da granulometrie più fini, anche se spesso questi comportamenti tendono a confondersi poiché influenzati dal contenuto di umidità.



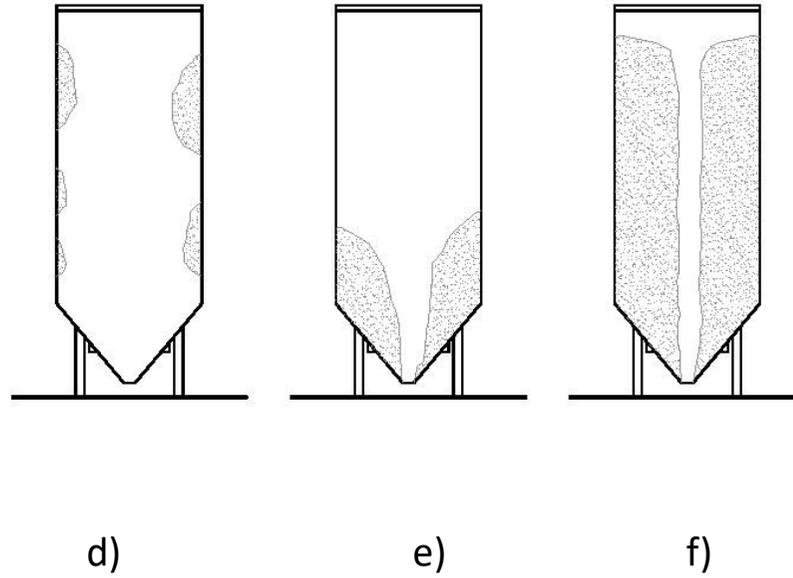
a)

b)

c)



DE Department of
Engineering
Ferrara



a) flusso regolare; b) arching; c) funnelling; d) hang-ups;
e) dead pockets; f) rat-holing o piping



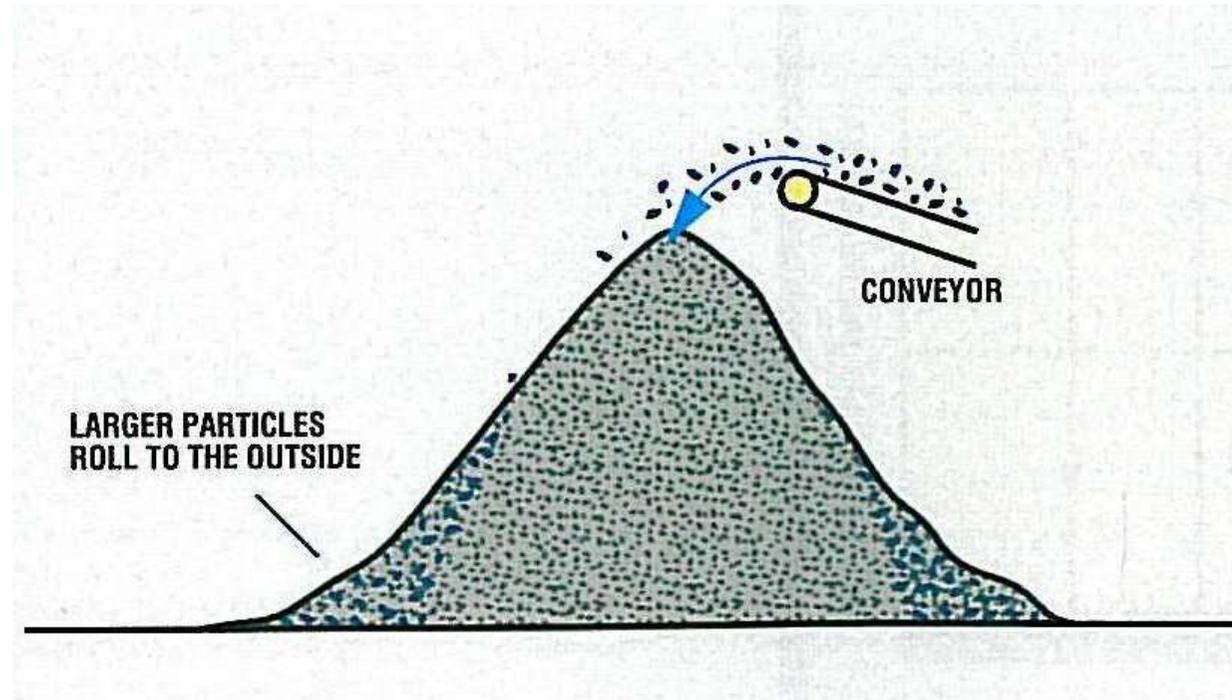
C'è un altro fenomeno che merita di essere ricordato ed è la cosiddetta “segregazione”: si verifica quando il materiale stoccato presenta una disomogeneità di distribuzione in relazione alla granulometria delle particelle che costituiscono l'intera massa.

E' possibile in questi casi che le particelle di dimensioni più piccole tendano ad accumularsi verso il centro mentre quelle di diametro maggiore si accumulino in prossimità della parete.

Questa anomalia comporta un problema in relazione alla sicurezza, poiché la consistenza della massa non è la medesima in tutti i punti.



Il fenomeno della segregazione (che in pratica è l'inverso della miscelazione) può dare luogo, in alcune rinfuse fortemente disomogenee, ad una separazione delle particelle a differente granulometria in senso verticale anziché radiale.



La fluidità o scorrevolezza dei materiali granulari (anche nota con il termine inglese *flowability*), ovvero la capacità di scorrere sotto l'effetto di una forza esterna, dipende complessivamente da numerosi fattori caratteristici propri della sostanza o esterni; tra i principali si possono annoverare i seguenti:

- distribuzione delle dimensioni delle singole particelle;
- forma delle singole particelle;
- rugosità superficiale delle particelle;
- composizione chimica della sostanza;
- igroscopicità;
- pressione;
- temperatura;
- tempo di stoccaggio.



Maggiore è la fluidità, minore ovviamente è l'energia necessaria per provocarne il movimento.

Naturalmente in impianti dismessi da tempo l'assorbimento dell'umidità, eventuali trasformazioni chimiche e l'assestamento «meccanico» delle particelle sono tra i fattori che più potrebbero influenzare il cambiamento delle caratteristiche del materiale in un arco di tempo lungo.



Sebbene l'angolo di declivio naturale sia l'indicatore di più comune utilizzo per determinare la stabilità di un accumulo depositato in piazzale, come già anticipato esso non è l'unico ad essere utilizzato e nel caso di accumuli in silos ve ne sono almeno un'altra dozzina da prendere in considerazione e da confrontare per cercare di sintetizzare poi qualche previsione comportamentale.



DE Department of
Engineering
Ferrara

Tra i principali:

- distribuzione delle dimensioni delle singole particelle;
- forma delle singole particelle;
- rugosità superficiale delle particelle;
- composizione chimica della sostanza;
- igroscopicità;
- pressione;
- temperatura;
- tempo di stoccaggio.



DE Department of
Engineering
Ferrara

Purtroppo la disomogeneità del grado di compattazione, dell'assorbimento dell'umidità, della granulometria e l'estrema variabilità di tanti altri fattori, rendono difficile fare previsioni sul comportamento reale dei materiali granulari; l'esperienza mostra che, anche accumuli apparentemente (e teoricamente) stabili, possono franare a seguito di lievi urti, salti termici o vibrazioni; viceversa, nei silos, materiali in condizioni di teorica fluidità soffrono sovente di difetti di deflusso.



Le dinamiche incidentali possono ovviamente variare in ragione della causa (rottura di uno strato di bridging, franamento del profilo di riposo, ecc.), ma in tutti i casi il tempo che intercorre tra l'inizio del movimento del materiale e il totale seppellimento di una persona è nella migliore delle ipotesi di pochi secondi e il tempo di sopravvivenza è limitato a 3 ÷ 5 minuti.

Il distacco improvviso di masse rilevanti di materiale dalle pareti (tipico nei casi di hung-up e dead-pocket), pur non comportando necessariamente un seppellimento, può facilmente causare traumi per schiacciamento anche mortali.





Dinamica incidentale nel caso di “bridging”





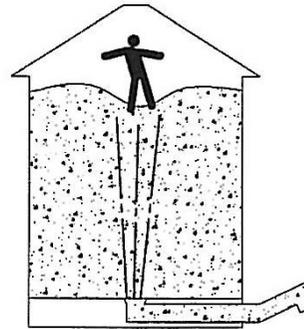
Dinamica incidentale nel caso di “dead pockets”



DE Department of
Engineering
Ferrara

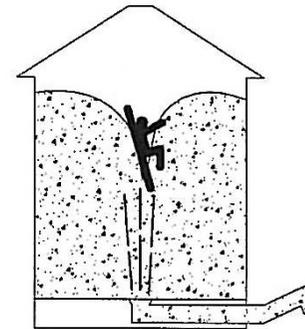
Rarissimi sono stati i casi di successo nell'azione di salvataggio di vittime intrappolate all'interno di silos o di altri impianti di stoccaggio di sostanze granulari in ragione dei ridotti tempi di sopravvivenza e dell'estrema difficoltà nel localizzare la vittima in tempi rapidi una volta avvenuto il seppellimento.

BASED ON 8" UNLOAD AUGER



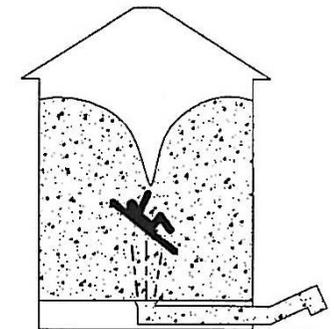
2 SECONDS

From the time you start your auger, you have 2 seconds to react.



4 SECONDS

In 4 seconds, you are trapped.



8 SECONDS

After 8 seconds, you are completely covered.



DE Department of
Engineering
Ferrara