



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**AGRARIA**

Dipartimento **AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE**

Dipartimento **TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI**

Corso di laurea in **SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE**

**ANALISI FISICA E MECCANICA**  
**DEI PRINCIPALI CONCIMI AD USO AGRICOLO**

**RELATORE:**

Dott. Francesco Marinello

**CORRELATORE:**

Prof. Luigi Sartori

Dott. Franco Gasparini

**LAUREANDO:**

Giulia Schievano

Matricola n. 1009848

**ANNO ACCADEMICO 2013-2014**

# RIASSUNTO

La concimazione è una delle principali pratiche agronomiche: è questa un'operazione che richiede conoscenza e precisione da parte dell'operatore, che dovrà valutare dose, metodo di somministrazione e tipo di concime da utilizzare.

In particolare per avere una dose al suolo controllata e omogenea è necessario conoscere in modo preciso le principali caratteristiche meccaniche e fisiche del concime da distribuire, perché queste vincolano in modo stringente le regolazioni delle macchine spandiconcime utilizzate per la distribuzione.

In questo lavoro di tesi sono state analizzate le diverse caratteristiche fisico meccaniche che più influenzano la performance delle macchine distributrici per i lavori di concimazione di venti tra i principali concimi impiegati in ambito agricolo, con particolare attenzione a densità, granulometria, carico di rottura e fluidità. I test sono stati condotti in accordo con quanto previsto dalla normativa internazionale UNI/EN/ISO.

I dati ricavati sono poi stati confrontati con i dati provenienti da annate o lotti diversi o con i pochi dati reperibili in rete o presso le aziende produttrici di macchine e concimi.

Conoscere bene le proprietà di un concime significa evitare distribuzioni troppo abbondanti o insufficienti, migliorare le operazioni agronomiche, evitare sprechi, migliorare l'uso delle risorse, favorire un risparmio economico e soprattutto diminuire l'impatto ambientale.

# ABSTRACT

Fertilization is a major agronomic practices: this is a task that requires knowledge and precision of the operator, who must assess dose, method of administration and type of fertilizer.

In particular, in order to have a controlled and homogeneous dose main mechanical and physical characteristics of the fertilizer to be distributed are needed: indeed they are strictly connected to fertilizer spreaders settings.

In the present thesis project main physical-mechanical properties of different fertilizers influencing the performance of fertilizers spreaders, with particular reference to density, flow, size and strength.

Twenty fertilizers were studied according to UNI-EN/ISO standards.

Results were then compared with data coming from different batches or years or with those provided by machines or fertilizers producers: it came out high differences as large as 20% can be expected when considering important parameters such as size, flow or strength.

# SOMMARIO

RIASSUNTO .....	1
ABSTRACT .....	3
SOMMARIO.....	4
Capitolo 1.....	6
INTRODUZIONE.....	6
1.1 La fertilizzazione in agricoltura.....	6
1.2 Il presente lavoro di tesi .....	8
Capitolo 2.....	10
FERTILITÀ DEL TERRENO .....	10
2.1 La fertilizzazione del terreno .....	10
2.2 Tipi di concimi e loro classificazioni.....	11
2.2.1 Dose ottimali da distribuire .....	12
2.2.2 Macchine per la distribuzione dei concimi.....	14
2.3 Proprietà fisiche e meccaniche dei concimi .....	15
Capitolo 3.....	22
TEST DI PROVA.....	22
3.1 Introduzione .....	22
3.2 Misura dell'angolo di riposo statico .....	24
3.3 Determinazione della scorrevolezza.....	26
3.4 Determinazione massa volumica apparente (senza compattazione) .....	28
3.5 Determinazione della massa volumica apparente (dopo compattazione) .....	30
3.6 Analisi granulometrica.....	32
3.7 Carico di rottura.....	34
3.8 Altre prove.....	35
Capitolo 4.....	38
PROVE SPERIMENTALI E RISULTATI .....	38
4.1 Concimi analizzati .....	38

4.2 Risultati più importanti.....	44
Capitolo 5 .....	52
CONCLUSIONI .....	52
BIBLIOGRAFIA .....	54
Documenti scientifici.....	54
Norme internazionali.....	54
Siti web .....	55
APPENDICE .....	56
RINGRAZIAMENTI .....	58

# Capitolo 1

## INTRODUZIONE

### 1.1 La fertilizzazione in agricoltura

Uno dei principali obiettivi dell'agricoltura è quello di conseguire la massima resa.

Questo è possibile sfruttando tutte le risorse disponibili, ma dipende anche dalle condizioni pedo-climatiche in cui si va ad operare.

La risorsa principale è indubbiamente il suolo, da cui la pianta trae il suo nutrimento per svilupparsi, crescere e produrre. In un ecosistema naturale vi è un equilibrio tra asportazioni e reintegrazioni di elementi nutritivi; in un campo coltivato invece questo equilibrio viene a mancare, in quanto l'intera coltivazione viene raccolta, vengono fatte lavorazioni e messa a dimora una nuova coltura: tutte operazioni che alterano il sistema suolo.

In certi terreni, ben dotati di elementi nutritivi, si può pensare di attuare per qualche tempo una coltura di "rapina", senza cioè restituire quanto asportato dalle colture, ma nel medio-lungo termine la fertilizzazione si dimostra indispensabile per mantenere elevato il livello di produttività. È quindi necessario intervenire con la concimazione, che attraverso concimi chimici e/o minerali o materiale organico (come liquami, letame ecc.) mira a restituire al terreno ciò che è stato assorbito e mantenere quindi costante la sua fertilità.

L'operazione della concimazione è quindi una delle principali pratiche agronomiche da applicare, ma non è un'operazione semplice da gestire ed organizzare, infatti richiede

attenzione e preparazione da parte dell'operatore, che dovrà valutare dose, metodo di somministrazione e tipo di concime da utilizzare.

Le valutazioni da fare sono molte: infatti non sarà sufficiente intervenire solo alla fine di un ciclo produttivo reintegrando semplicemente le asportazioni della coltura, ma bisognerà anche valutare la dotazione del suolo, gli effetti residui e considerare le eventuali rotazioni colturali.

La carenza di elementi nutritivi sarà sicuramente un fattore limitante per la produzione, ma anche un eccesso degli stessi può avere risvolti negativi. Abbondare con la fertilizzazione infatti non corrisponde ad un aumento proporzionale di produzione, anzi può provocare squilibri, se non addirittura fenomeni di tossicità, compromettendo in questo modo la resa.

Diviene quindi indispensabile avere una gestione aziendale ben organizzata in precedenza ad ogni lavorazione o intervento.

Essendo l'ecosistema agricolo inserito in un contesto più ampio, è ragionevole considerare l'interazione dello stesso con gli altri sistemi che lo circondano. Le operazioni agronomiche che si andranno a svolgere, di qualsiasi tipo esse siano, avranno un impatto ambientale, e nel caso della concimazione ci sono diversi aspetti da considerare.

Non tutti gli elementi nutritivi si comportano alla stessa maniera all'interno del terreno: alcuni sono detti mobili, subiscono cioè spostamenti all'interno del suolo, di solito legati ai movimenti dell'acqua, altri sono fissi, si legano a microstrutture del suolo per rimanervi legate. Spesso, le sostanze apportate al terreno subiscono delle modificazioni chimiche che rendono l'elemento più o meno disponibile al suolo andando così non solo ad influenzare la gestione ma anche a causare possibili inquinamenti.

Questi aspetti sono soggetti a diverse normative che mirano a contenere e migliorare la gestione dell'inquinamento ambientale provocato dall'agricoltura.

Prendendo ad esempio in esame l'azoto, che è l'elemento più mobile nel terreno e soggetto a lisciviazioni, se viene superata la capacità di metabolizzazione dell'elemento da parte del terreno vi sarà possibilità di un inquinamento di ossidi di azoto sia in atmosfera che in falda, dove sono molto persistenti e tossici sia per l'uomo che per gli organismi acquatici.

In particolare l'inquinamento di corpi idrici da parte di questo tipo di elemento è oggetto della 'normativa nitrati' 91/676/CEE che mira a salvaguardare tutti i corpi idrici da questo tipo di inquinamento, soluzioni per diminuire l'impatto sono suggerite dalla

normativa stessa che identifica quantitativi distribuibili a seconda dalla sensibilità della zona in cui si opera.

Un altro inquinamento di questo tipo è quello determinato dalle concimazioni fosfatiche, che provocano eutrofizzazione dei corpi idrici. Questo elemento risulta, infatti, un ottimo stimolante di crescita per alghe, che sviluppate in grande quantità creano grossi problemi; inoltre una volta morte si depositano sul fondo, provocando una forte attività batterica che utilizza molto ossigeno portando alla morte per ipossia degli altri organismi acquatici.

E' dunque palese la necessità di avere una concimazione sempre più precisa non solo per garantire produttività, ma anche per contenere i costi rispettando l'ambiente.

A questo proposito è importante un'azione da più parti:

- da parte degli agricoltori si deve cercare una maggiore attenzione, procedendo ad esempio con somministrazioni anche frazionate in modo da ottimizzare gli assorbimenti da parte della coltura
- da parte delle aziende produttrici di concime si devono cercare nuove formule e metodi per migliorare le prestazioni in particolare quelle legate al rilascio e all'assorbimento
- da parte delle aziende costruttrici di macchine per la somministrazione del concime è altresì importante una continua innovazione, con macchine in grado di distribuire in modo sempre più mirato e preciso.

L'obbiettivo finale è quello di raggiungere le massime produzioni con i minimi sprechi e il minimo impatto ambientale.

## **1.2 Il presente lavoro di tesi**

In questo lavoro di tesi sono state prese in considerazione le principali caratteristiche fisico meccaniche dei concimi ed è stato analizzato come, al loro variare, cambia la loro distribuzione sul terreno, durante la pratica agronomica della concimazione. Per ognuna di queste caratteristiche sono state osservate ed eseguite analisi in laboratorio che portano ad avere dei parametri, i quali permettono di descrivere il concime. Le prove eseguite sui campioni di concime presi in esame sono state per la determinazione di densità, diametro, flusso, angolo statico e punto di rottura: tutte analisi eseguite in accordo con le procedure definite dalle norme internazionali. Questi sono infatti i principali parametri che giocano un ruolo fondamentale sulla regolazione delle



macchine distributrici di concime. I dati conseguiti sono poi stati confrontati con i pochi disponibili in rete o nelle specifiche tecniche dei produttori.

La conoscenza di questi dati e delle loro variabilità è quindi un passo fondamentale per poi stimare l'effetto sulle variazioni di comportamento del concime al momento dello spargimento, per quanto riguarda in particolare la larghezza di lavoro durante lo spaglio. Conoscere queste variazioni è importante sotto molti aspetti, in particolare sia dal punto di vista economico dell'agricoltore (che potrà evitare sprechi derivanti da una distribuzione eccessiva e non necessaria) sia dal punto di vista del suolo e della fertilità (che potrà essere gestita con precisione evitando fenomeni di carenza o di tossicità) sia dal punto di vista ambientale (riducendo o eliminando rilasci eccessivi di sostanze dannose per l'ecosistema).

## Capitolo 2

# FERTILITÀ DEL TERRENO

### 2.1 La fertilizzazione del terreno

Per fertilità s'intende una qualsiasi sostanza che, per il suo contenuto in elementi nutritivi oppure per le sue peculiari caratteristiche chimiche, fisiche o biologiche, contribuisce al miglioramento della fertilità del terreno agrario, oppure al nutrimento delle specie vegetali coltivate o, comunque, ad un loro miglior sviluppo.

La disponibilità di questi elementi nutritivi nel suolo dipende:

- dall'origine del terreno, che va a costituire la dotazione di sostanze nutritive di partenza dello stesso e le reazioni che avvengono.
- dalla struttura, intesa come caratteristiche fisiche, che determina la capacità di trattenuta, mobilità ecc.
- dalla gestione agronomica.

Nei terreni coltivati, per garantire una resa costante, è necessario creare l'ambiente adatto, mantenere e conservare la fertilità del suolo apportando i dovuti interventi che si possono così classificare in:

- 1) concimazione: quando l'apporto di materiali è finalizzato ad aumentare e/o reintegrare il contenuto degli elementi nutritivi del terreno necessari per l'accrescimento della coltura;
- 2) ammendamento del terreno: quando l'apporto di materiali è finalizzato al miglioramento delle caratteristiche fisiche e biologiche del terreno;

3) correzione della reazione del terreno: quando l'apporto di materiali è finalizzato a modificare, innalzando o riducendo, la reazione del terreno (pH).

Per ottenere risultati con le suddette pratiche si utilizzano materiali classificati, secondo il DL: del 29 aprile del 2009 'Revisione delle discipline in materia di fertilizzanti' in:

- 1) concimi: prodotti la cui funzione principale è fornire elementi nutritivi alle piante
- 2) ammendanti: materiale da aggiungere al suolo per modificare e migliorare le caratteristiche fisiche e/o chimiche del suolo e/o l'attività biologica
- 3) correttivi: materiale da aggiungere al suolo per modificare e migliorare proprietà chimiche anomale del suolo dipendenti da reazione, salinità ecc.
- 4) substrati di coltivazione: materiali diversi dai suoli dove vengono coltivati vegetali
- 5) prodotti ad azione specifica: prodotti che apportano al suolo e/o a un altro fertilizzante. e/o alle piante, sostanze che regolano o favoriscono l'assorbimento delle sostanze nutritive o correggono determinate anomalie di tipo fisiologico
- 6) fertilizzanti per l'agricoltura biologica: fertilizzanti il cui uso è consentito nel metodo di produzione biologica.

In particolare, per quanto riguarda i concimi, si può dire che l'obiettivo fondamentale della concimazione è quello di fornire alle piante coltivate gli elementi nutritivi necessari per accrescersi e realizzare la loro produzione. La concimazione può essere effettuata utilizzando concimi organici, concimi minerali o chimici e concimi organo-minerali .

## **2.2 Tipi di concimi e loro classificazioni**

Per quanto riguarda i concimi è utile una loro prima classificazione in:

- a) liquidi
- b) solidi
- c) gassosi

I concimi allo stato liquido, non oggetto del presente lavoro di tesi, possono presentarsi in forma gassosa liquefatta, liquida in soluzione o in sospensione.

Per quanto riguarda i concimi solidi invece, i più utilizzati, vengono a loro volta suddivisi a seconda della loro forma e del loro diametro come:

- granulati: di forma rotonda e regolare, adatti alle grandi larghezze di lavoro
- prilled: di forma rotonda ma scavati, di diametro minore al granulato e di bassa densità, più sensibile alla rottura e richiede molta attenzione per lo spargimento

- compattati: hanno forma irregolare e angolosa, spesso ruvidi; richiedono più sforzi da parte del distributore per il loro spargimento e la traiettoria sarà meno precisa
- polverulenti o cristallizzati.
- blends: sono delle miscele fisiche di vari tipi di concimi; uno spargimento regolare richiede che le miscele siano omogenee in tutto il loro volume
- bulk-blends: sono delle miscele chimiche di differenti elementi fertilizzanti; uno spargimento regolare richiede che le principali caratteristiche fisiche di ogni componente siano identiche
- polverulenti o cristallizzati.

Un altro criterio di classificazione è definibile in base al contenuto in elementi fertilizzanti. Possiamo quindi suddividerli come:

- semplici: contenenti un solo elemento nutritivo, e posso essere azotati, fosfatici o potassici.
- composti: contenenti due o più elementi fertilizzanti variamente legati in diverse combinazioni chimiche, e possono presentarsi come concimi binari azoto fosforo (NP), azoto-potassio (NK), fosforo-potassio (PK) o ternari azoto-fosforo-potassio (NPK).

### **2.2.1 Dose ottimale da distribuire**

Ottimizzare la concimazione significa favorire e cercare di ottenere il massimo assorbimento degli elementi nutritivi da parte della coltura mirando a soddisfare i fabbisogni della stessa. La pratica della concimazione non è regolabile in base a formule standard ma deve essere calibrata in base ai fabbisogni della coltura in atto, alle caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del terreno, alle pratiche agronomiche in uso (avvicendamento, irrigazioni, lavorazioni del terreno, ecc.) e alle condizioni climatiche della zona.

Il quantitativo di concime da apportare, identificato come dose, corrisponde alla quantità di elemento da apportare al terreno con l'obiettivo di ottenere la massima resa possibile in un determinato ambiente pedo-climatico.

Generalmente quando si parla di dose di concime si distinguono:

1. la dose tecnica ottimale, che è quella oltre la quale si annulla la produttività marginale, e cioè quando l'ulteriore aggiunta di concime non provoca ulteriori aumenti di produzione;

2. la dose economica ottimale, che è quella oltre la quale si annulla il reddito marginale della coltura o in altre parole quando il costo globale dell'unità di concime aggiunta equivale al valore dell'incremento di produzione ottenuto.

In pratica la prima fa riferimento alla quantità di prodotto utile ottenuta, mentre la seconda fa riferimento all'economicità della quantità distribuita. Dal punto di vista agronomico, la dose ottimale è quella che permette di raggiungere il miglior risultato tecnico sia per quantità e qualità del prodotto che in termini di fertilità del suolo; dal punto di vista economico, invece, la dose ottimale è quella che massimizza il reddito netto.

Se venisse considerata una coltura in ambiente perfettamente controllato e isolato, la quantità di elemento da apportare sarebbe esattamente equivalente a quella contenuta nella pianta al momento della raccolta.

In realtà però la coltura si realizza in un sistema di interazioni che possono modificare la disponibilità di elementi nutritivi nel terreno. Quindi non è detto che sia necessario distribuire l'intera dose ritenuta necessaria per soddisfare i fabbisogni di una data coltura, in quanto una certa frazione dello stesso potrebbe derivare dalle piogge, dalla dotazione del terreno, da colture precedenti ecc. Una situazione inversa si può però verificare nel caso in cui l'ambiente sottragga elemento nutritivo alla coltura attraverso ad esempio, lisciviazioni, ruscellamento ecc., si dovrà quindi procedere alla distribuzione di una quantità superiore di quella calcolata.

In sintesi, l'individuazione della quantità di elemento nutritivo da distribuire si basa sull'eguaglianza:

$$Q = F - E + U$$

dove:

- Q rappresenta la quantità di elemento nutritivo da distribuire
- F indica il fabbisogno colturale e cioè quantità dell'elemento nutritivo che verrà utilizzato dalla coltura per fornire una determinata produzione quanti/qualitativa
- E è la quantità di elemento nutritivo che potrà essere utilizzata dalla coltura ma che non è distribuita con il concime; effetto di avvicendamento
- U indica la quantità di elemento nutritivo che l'ambiente sottrae alla possibile utilizzazione da parte delle piante.

L'ottimizzazione del concime, in termini di dose distribuita e assorbita dal terreno, dipende tra gli altri da due fattori molto importanti:

- il sistema o la macchina utilizzata per la distribuzione

- il tipo di concime e le sue proprietà fisico-meccaniche.

### **2.2.2 Macchine per la distribuzione dei concimi**

La macchina per la distribuzione dei concimi riveste un ruolo fondamentale per quanto riguarda la quantità e l'omogeneità di distribuzione del concime.

Ovviamente per ogni tipo di concime bisognerà utilizzare la macchina per distribuzione adatta. Per quanto riguarda i concimi organici come letame e liquame verranno utilizzati carri spandiletame o carri spandiliquame dotati di serbatoio in pressione.

Per la distribuzione dei concimi solidi invece si possono così riassumere le diverse macchine utilizzabili:

- spandiconcime a distribuzione lineare
- spandiconcime a distribuzione centrifuga
- spandiconcime pneumatici
- spandiconcime per fertilizzanti minerali liquidi
- macchine per la distribuzione di concime allo stato gassoso.

Le macchine spandiconcime sono costituite da un telaio portante munito o meno di ruote a seconda che si tratti di macchine portate, semiportate o trainate; una tramoggia destinata a contenere il fertilizzante da distribuire; sistema di regolazione della dose e gli organi di distribuzione. La tramoggia generalmente di forma troncoconica o prismatica, può essere di materiale plastico o in lamiera metallica protetta per limitare la corrosione operata da parte del concime. Le tramogge hanno capacità variabili a seconda dei diversi modelli generalmente comprese tra 300 e 2500 decimetri cubi per i spandiconcime portati e 1500 e 12000 decimetri cubi per le macchine distributrici trainate. Ogni tramoggia presenta al suo interno un agitatore meccanico e nella parte superiore una griglia metallica di protezione con maglie opportunamente dimensionate in modo tale da non ostacolare il flusso del materiale fertilizzante da distribuire, conferire sicurezza all'operatore ed evitare che corpi estranei o agglomerati di fertilizzante sopraggiungano negli organi inferiori. Il sistema di regolazione della dose permette di regolare il flusso del fertilizzante dalla tramoggia verso gli organi di distribuzione. Normalmente costituito da una saracinesca azionata con una leva posta alla base della tramoggia, può essere azionato anche da un sistema idraulico o elettro/idraulico. L'apparato di distribuzione è solitamente composto da un disco orizzontale rotante dotato superiormente di alette radiali, posto singolo o in coppia al di sotto della tramoggia e azionato dalla presa di potenza (PTO) della trattrice oppure, nel

caso il spandiconcime sia dotato di ruote, dal moto delle stesse. Nel primo caso la distribuzione sarà proporzionale al regime di rotazione del motore, viceversa si parlerà di distribuzione proporzionale alla velocità di avanzamento. In ogni caso il sistema di distribuzione ha lo scopo di ripartire il fertilizzante sul terreno ed assicurarne una distribuzione il più omogenea possibile con sufficiente uniformità sia lungo la direzione di avanzamento sia in senso trasversale.

La distribuzione del fertilizzante avviene grazie alla forza centrifuga impressa sui granuli dall'organo distributore. I granuli, dopo aver percorso una traiettoria parabolica in aria, cadono sul terreno ad una distanza dall'elemento distributore che dipende dalla macchina (velocità di avanzamento, velocità di rotazione e geometrie del disco, ecc.), dalle condizioni ambientali (presenza di vento, inclinazione del terreno, ecc.) e dal concime stesso (caratteristiche fisiche e meccaniche dei singoli granuli).

La larghezza di lavoro utile per le macchine spandiconcime centrifughe è generalmente compresa tra i 6 e i 28 metri ma granulometria, densità, fluidità e durezza dei granuli di concime condizionano fortemente la distanza e l'omogeneità di distribuzione: a parità di dimensione i granuli dotati di peso maggiore raggiungono distanze maggiori, a parità di densità granuli più grandi raggiungono distanze maggiori, granuli più fragili tendono a rompersi riducendo così le dimensioni e raggiungendo distanze inferiori.



Figura 2.1. Esempio di macchine spandiconcime centrifuga (a sinistra) e dettaglio di un disco (a destra).

### **2.3 Proprietà fisiche e meccaniche dei concimi**

Le principali proprietà dei concimi che vanno prese in considerazione al fine di una corretta e completa valutazione o previsione della loro performance durante la

distribuzione sono: densità, forma e sfericità, diametro, durezza, tendenza ad agglomerare, resistenza all'umidità, friabilità e polverosità.

## DENSITÀ

La densità è uno dei parametri fisici più importanti per quanto riguarda i concimi solidi. Infatti la densità non solo determina il peso e/o il volume d'ingombro del materiale caricato nella tramoggia delle macchine usate per la distribuzione, ma condiziona in modo rilevante la larghezza di distribuzione. In generale infatti a parità delle altre proprietà, più alta è la densità del concime, maggiore è la larghezza di spaglio e viceversa a minore densità minore sarà la larghezza di spaglio.

È importante avere una densità omogenea per avere una distribuzione altrettanto omogenea, influisce infatti nella taratura della macchina distributrice e nella determinazione della dose, per ottenere questi risultati sarebbe opportuno avere una densità nota e costante.

La densità si misura in due modi:

- densità volumica apparente: è data dal peso del concime diviso per il volume occupato, inclusi i vuoti tra i grani del concime stesso. È dunque una densità più bassa della densità effettiva del concime massivo.
- densità volumica dopo compattazione: è calcolata come la precedente, ma considera una misura fatta dopo compattazione del concime, cioè dopo una riduzione parziale dei vuoti ottenuta attraverso vibrazione del materiale.

## FORMA

La forma dei concimi solidi può essere rotonda e relativamente liscia quando si parla di granulati, rotonda irregolare e più piccola nel caso dei prilled, spigolosa nel caso dei compattati (o scaglie), polverulenti e cristallizzati.

In genere forme sferiche molto omogenee hanno una migliore controllabilità e minori effetti di deriva vengono quindi in genere usati per grandi larghezze di lavoro. Eccezione fatta per i prilled che richiedono molta attenzione nelle operazioni di spargimento di notevole larghezza.

Viceversa i compattati a forma di scaglie o comunque irregolari hanno comportamenti di resistenza dell'aria anomali che rendono più difficile una buona distribuzione, la loro traiettoria infatti non sarà precisa.



Per quanto riguarda i polverulenti e i cristallizzati lo spargimento dovrà essere calibrato per larghezze di lavoro ristrette e sarà influenzato dalle condizioni climatiche, soprattutto di vento e umidità.

## DIAMETRO

Il diametro è un parametro tipicamente molto variabile dei concimi.

Per ogni tipo di concime sono stabilite delle dimensioni minime e massime, definibili attraverso un'analisi granulometrica, così ripartite (mm):

- per i concimi granulari il diametro medio deve essere compreso tra un minimo di 2.2 mm ed un massimo di 4.2 mm
- per i concimi prilled il diametro medio deve essere compreso tra un minimo di 1.7 mm ed un massimo di 3.5 mm
- per i concimi compattati il diametro medio deve essere compreso tra un minimo di 2.5 mm ed un massimo di 5.0 mm

Il diametro è importante in quanto influenza la larghezza e l'omogeneità di spaglio, andando ad influire, infatti, non solo nel comportamento fisico del granulo durante la sua distribuzione, ma anche il comportamento dell'intero carico all'interno della macchina distributrice. Diametri troppo variabili all'interno di uno stesso concime provocano, infatti, difficoltà nella regolazione della macchina per lo spaglio e possono portare a problemi nella fluidità di movimento dell'intero carico all'interno della macchina stessa, a parità di densità e con la stessa taratura della macchina, quando il diametro aumenta, la proiezione di lavoro generalmente cresce.

In genere si cerca di avere un diametro medio >3 mm per avere una buona larghezza di spaglio e minore deriva. Ciò permetterebbe una maggior sicurezza e precisione di lavoro.

## DUREZZA

La durezza di un concime è una caratteristica da tenere in considerazione sia durante lo stoccaggio che durante la movimentazione e lo spaglio.

Per durezza si intende la resistenza dei granuli alla rottura, si misura in chilogrammi forza (kgf) o newton necessari per rompere un granello di concime.

In laboratorio viene stimata attraverso un dinamometro collegato a un banco prova che ne misura il punto di rottura.

Se i granuli presentano un alto indice di rottura lo spettro granulometrico d'origine del prodotto verrà profondamente modificato durante tutte le operazioni che lo interesseranno, dal deposito allo spaglio, dove lo stesso impatto con il disco di distribuzione può provocare rotture.

Questo provoca problemi all'omogeneità della distribuzione in quanto la taratura scelta non corrisponderà più alle caratteristiche reali del concime.

### TENDENZA AD AGGLOMERARE

I granuli di concime devono restare separati durante tutta la loro esistenza, e durante tutti i movimenti che lo interessano. E' indispensabile evitare la formazione di agglomerati di granuli, più o meno consistenti e difficili da disgregare. La formazione di questi ammassi, che presentano dimensioni maggiori e forme irregolari, provocano irregolarità di spaglio oltre alla possibilità di intasamenti nella macchina distributrice.

Prove per testare questa tendenza vengono fatte in laboratorio utilizzando centrifughe su cui verrà messo un campione di concime e azionata ad un determinato numero di giri, per un tempo preciso ad una temperatura costante.

Il verificarsi di questo fenomeno può dipendere da diversi fattori, come la forma, la sensibilità all'umidità ecc., e quindi dalle caratteristiche interne del concime, dalle condizioni di fabbricazione e stoccaggio.

Per ovviare a questo rischio i granuli vengono spesso rivestiti e la formulazione di questo trattamento varia per ogni industria produttrice.

### ASSORBIMENTO DI UMIDITÀ

Questa caratteristica indica la capacità di assorbimento dell'umidità ambientale di un determinato concime. Nel caso si verificasse un eccesso di umidità del prodotto potrebbero venire modificate le caratteristiche chimiche del concime oltre che quelle fisiche. Si possono verificare, infatti, modificazioni della durezza, del diametro ecc., in certe tipologie di concime, anche l'agglomerazione. La natura di questo fenomeno riguarda principalmente fabbricazione e stoccaggio. Le conseguenze si riflettono sulla qualità distribuzione, attenzione particolare va fatta per i concimi polverosi che sono generalmente più sensibili agli effetti dell'umidità.

Il tasso di umidità all'uscita dalla fabbrica è generalmente intorno a valori dell'2% per l'ammonio nitrato, del 1% per i complessi N e NPK e del 5% e anche più per i concimi PK. Le eventuali variazioni di umidità vengono calcolate con una prova che misura

l'evoluzione del peso di un campione di concime esposto per 24 ore ad umidità relativa del 72% a 25C°. l'ideale è che la variazione sia uguale a zero.

### FRIABILITÀ

La friabilità permette di apprezzare la tendenza a disgregarsi dei granuli di concime, dovuta allo sfregamento tra i granuli stessi e agli urti che possono subire durante le varie manipolazioni.

La determinazione di questa caratteristica viene fatta attraverso il 'Canada test' che prevede l'immissione del campione di concime in un ciclone alimentato da una portata d'aria controllata e va poi a quantificare percentualmente di granuli disgregati in particelle di diametro inferiore a 1,6mm. Ovviamente le modificazioni fisiche a carico del concime provocate da questo fenomeno vanno a creare problemi sull'omogeneità di distribuzione.

Questa caratteristica influenza la polverosità di cui si parlerà qui di seguito.

### POLVEROSITÀ

La presenza di polvere nel concime compromette la buona tenuta del prodotto, e può essere dovuta a diversi fattori:

- fabbricazione difettosa
- invecchiamento accelerato del prodotto
- disgregazione dovuta alla variazione di umidità e temperatura e alle reazioni chimiche
- ad un alto tasso di friabilità (sopracitata)

La polverosità è un fattore favorevole alla tendenza ad agglomerare del concime favorito dagli eccessi di assorbimento di umidità. Inoltre al momento dello spaglio andrà a determinare una distribuzione sicuramente disomogenea, infatti, la polvere umida andrà a concentrarsi dietro la macchina per la distruzione, e se asciutta ci sarà anche una forte deriva.

### SFERICITÀ

La geometria delle particelle, come lo stato della loro superficie, influenzano lo scorrimento del concime e la sua distribuzione.

Più il granulo è sferico, più lo scarico dalla tramoggia sarà regolare, la resistenza aerodinamica diminuita, la traiettoria più stabile e la distanza raggiunta maggiore, aumentando inoltre l'omogeneità di distribuzione.

Quando, invece, il prodotto è irregolare e rugoso, il coefficiente di sfregamento tra i granuli e dei granuli stessi con gli organi di distribuzione aumenterà, la velocità di espulsione diminuirà, la traiettoria sarà irregolare e di conseguenza la distanza e la distribuzione non saranno precise.

La determinazione della sfericità non è ancora soggetta a normativa, ma si viene normalmente determinata facendo scorrere un campione di concime lungo un piano con inclinazione del 12% su una distanza di 0.6 m, dopo il lancio da un piano con inclinazione al 45% e andando a quantificare in percentuale la distanza raggiunta alla base del piano.

### FLUIDITÀ

Considerando quindi tutte le caratteristiche fin ora elencate appare chiaro che uno dei punti più importanti per determinare la qualità del concime e per garantirne un'adeguata distribuzione, è il modo in cui il prodotto rimane fluido e maneggiabile durante tutto il suo percorso, dalla fabbricazione alla distribuzione in campo.

Questa caratteristica è influenzata soprattutto da densità, forma, diametro, sfericità e dalla loro attitudine a mantenerli, attitudine legata alla durezza, friabilità, polverosità, resistenza all'umidità e resistenza alla tendenza ad agglomerare.

La definizione di questo parametro è soggetta a norma. La prova consiste nel misurare il tempo di scorrimento di 2kg di concime partendo da un campione di 3kg, messo nell'imbuto a norma, e lasciato scorrere all'interno di un recipiente tarato da cui si procederà con una pesatura del concime defluito.

Il risultato si esprime in kg al minuto, e permette la determinazione della massa volumica apparente.

Conoscere questo parametro permette di prevedere il comportamento del concime all'interno della macchina distributrice, di scegliere quindi la taratura più adatta e migliorare l'omogeneità di spaglio e la dose da distribuire.

### ANGOLO DI RIPOSO STATICO

Essere a conoscenza di questo parametro è importante soprattutto per la gestione e il dimensionamento dello stoccaggio. Si basa sull'osservazione di come va a disporsi un concime lasciato uscire da un contenitore, considerando il diametro della base del cono che andrà a formare. Dipendente dalla fluidità, dalle dimensioni e dal tipo di superficie del concime.



# Capitolo 3

## TEST DI PROVA

### 3.1 Introduzione

L'obiettivo principale della concimazione, è quello di ottenere una ripartizione del concime più regolare possibile su un appezzamento, con l'aiuto di una macchina per la distribuzione. Questo permetterà di avere una fertilizzazione omogenea in tutto il campo, evitando fenomeni di carenza o eccessi e garantendo così una buona resa in produzione. Questo vale per tutti i tipi di concimi, semplici, binari o ternari, ma una particolare attenzione va fatta per i concimi composti (blends), nei quali gli elementi fertilizzanti che ne costituiscono la mistura devono essere uniformemente ripartiti, in modo da ottenere una fertilizzazione omogenea di tutti i costituenti in tutto l'appezzamento.

Le accortezze per una buona concimazione derivano da attenti ragionamenti (non oggetto del presente lavoro), devono essere fatti diversi calcoli e adottate determinate accortezze a seconda del tipo di suolo, della coltura, dello stato del campo ecc.

Per evitare errori, le principali grandezze da tenere in considerazione per lo spargimento sono:

- dose: è la quantità di prodotto distribuita per unità di superficie; l'unità di riferimento è kg/ha
- flusso: è la quantità sparsa per unità di tempo, espressa in kg/min

- larghezza di lavoro: è la distanza tra due passaggi vicini dell'apparecchio distributore ed è anche la distanza che separa il punto di copertura tra i passaggi
- larghezza di spaglio, o proiezione: è la distanza dello strato di spargimento in senso perpendicolare all'avanzamento del mezzo
- larghezza di copertura: è la differenza tra larghezza di spargimento e larghezza di lavoro.

Considerati questi fattori l'obiettivo è quindi quello di ottenere una distribuzione regolare, che dipende dall'uniformità del concime in uscita dal disco di distribuzione e dalla copertura di lavoro tra i due passaggi, di andata e di ritorno.

In direzione trasversale alla distribuzione la variazione è molto più sensibile: dipende infatti dal tipo di macchina distributrice, dalla sua regolazione e dalla larghezza di lavoro ricercata per il concime utilizzato. Viceversa in direzione longitudinale della distribuzione le variazioni possono considerarsi di minore entità, per quanto rilevanti.

La regolarità dello spargimento dopo i passaggi successivi, è caratterizzata dal coefficiente di variazione C.V. (%) della distribuzione trasversale accumulata.

Conoscere e rispettare questo parametro è indispensabile per effettuare una concimazione efficace, per limitare gli sprechi e per ridurre l'impatto ambientale.

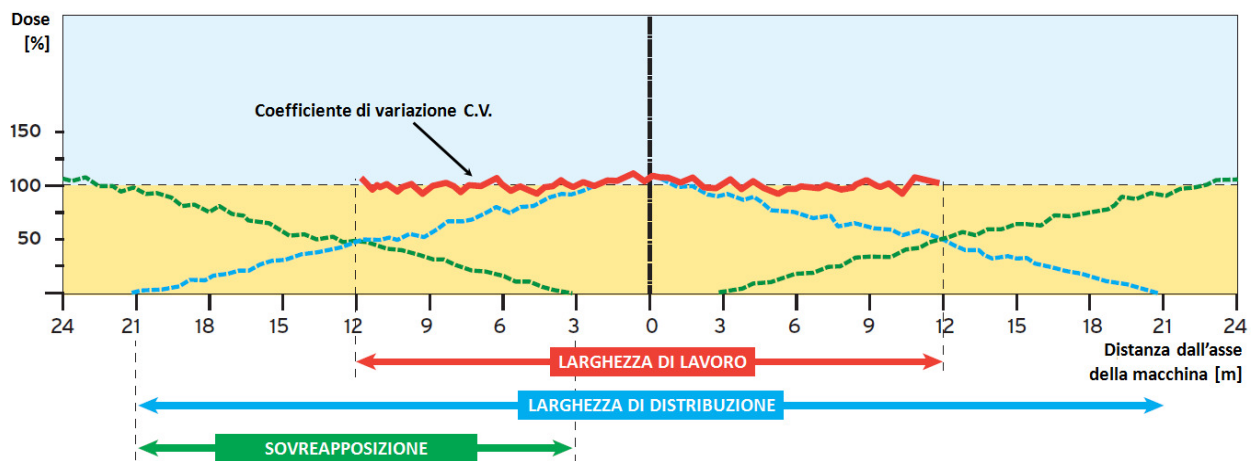


Figura 3.1. Diagramma di distribuzione dopo due passate successive e rappresentazione del coefficiente di variazione C.V.

Per ottenere una distribuzione omogenea è però necessario che le caratteristiche fisiche e meccaniche del concime utilizzato siano note e costanti.

La necessità di avere parametri stabili e costanti ha portato ad avere una normalizzazione dei test da eseguire sui concimi per stabilirne le proprietà.

Le principali prove, molte delle quali definite dalla normativa UNI-ISO, sono quelle di:

- misurazione dell'angolo di riposo statico
- determinazione della scorrevolezza
- determinazione massa volumi apparente, senza compattazione
- determinazione massa volumica apparente, dopo compattazione
- analisi granulometrica.

### **3.2 Misura dell'angolo di riposo statico**

La stima dell'angolo di riposo statico è descritta dalla norma UNI (UNI EN 12047:1999). La norma indica un metodo di misurazione dell'angolo di riposo statico per concimi solidi. È applicabile a concimi scorrevoli per misurare angoli di riposo statico maggiori di 20°. Il metodo indicato non è adatto a materiali che contengono un'elevata frazione di particelle con dimensioni superiori ai 5mm. Questa misurazione è importante per il calcolo delle capacità di stoccaggio. Con questo metodo si ottiene, normalmente il valore massimo ottenibile nella pratica.

Per questa norma l'angolo di riposo statico ha come definizione: angolo alla base di un cono di concime, ottenuto facendo cadere in condizioni prefissate un campione di concime su una piastra a base orizzontale. Questo valore si ottiene misurando l'altezza e il diametro della base del cono di concime, ottenuto facendo cadere un campione attraverso un imbuto particolare, posto ad un'altezza stabilita, su una piastra perfettamente piana ed orizzontale. Si calcola poi l'angolo di riposo.

L'attrezzatura necessaria secondo norma comprende:

- un imbuto con porta imbuto: deve essere di plastica rigida o di acciaio inossidabile, presentante un foro di scarico del diametro di 25 mm e dotato di un sistema di otturazione dello scarico stesso, uguale a quello definito dalla ISO 3944 (ISO 3944:1992);
- una piastra di base quadrata: di dimensioni 750 mm x 750 mm di metallo plastica o legno, non deformabile, resiste all'umidità e di finitura grezza, non lucida; la piastra deve riportare 4 linee, a 45° l'una rispetto all'altra, che si intersechino al centro della piastra.

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

- 1) Si sceglie un quantitativo di concime idoneo (tipicamente almeno 2 kg, ma in generale sufficiente a produrre un cono di altezza superiore ai 120 mm); si misura la temperatura ambientale e si verifica che sia entro i valori stabiliti dalla norma; ci si



assicura che l'imbuto sia ben fissato e che la distanza tra il punto di uscita di quest'ultimo e la piastra sia di 120 mm.

2) Una volta fatto questo, si versa di concime all'interno dell'imbuto con la saracinesca chiusa, quindi si apre e si lascia fluire il concime, evitando di provocare vibrazioni all'apparecchiatura. Si lascia fluire fino a quando la sommità del cono di concime non raggiunge la punta di scarico dell'imbuto: se il concime non è sufficiente si deve aggiungere concime nell'imbuto mantenendo un flusso costante.

3) Completato il flusso si traccia la circonferenza della base del cono sugli 8 raggi segnati sulla base, non tenendo conto dei grani isolati che formano un singolo strato intorno al cono. Quindi si toglie il concime dalla base e si misurano le lunghezze dei quattro diametri tracciati.

L'angolo di riposo statico viene espresso in gradi e ricavato attraverso l'equazione:

$$\alpha = \arctan \frac{2h}{\bar{d} - d_i}$$

dove:

$h$  = altezza cono in mm (240mm)

$\bar{d}$  = media aritmetica dei 4 raggi misurati

$d$  = diametro interno dello scarico dell'imbuto (25 mm)



Figura 3.2. Concime nella tipica distribuzione conica (a sinistra) e apparecchiatura utilizzata per le prove di flusso e per il calcolo dell'angolo di riposo statico (a destra).

Nel laboratorio dell'azienda sperimenta "L. Toniolo" dell'università di Padova le prove sono state eseguite cercando di rispettare le norme e utilizzando i mezzi a disposizione.

Il cono e la base utilizzate per queste misurazioni rispettavano perfettamente la norma. La base è di compensato con superficie non lucida e i raggi sono stati segnati secondo norma, a 45° uno dall'altro. L'imbuto, utilizzato anche per le altre prove rispetta le dimensioni richieste dalla norma, la distanza tra base e imbuto è di 120mm come da normativa.

Sui raggi è stata inoltre segnata una circonferenza di 30 cm. Per semplicità nel rilevamento dei dati, la misurazione dei diametri è stata fatta con il concime ancora disposto a cono sulla piastra, misurando la distanza della circonferenza già segnata da quella formata dal concime su ogni raggio, non considerando lo strato di granuli singoli intorno il cono. Questo ha permesso di utilizzare la stessa base per tutte le prove minimizzando il rischio di errori nelle misurazioni.

L'altezza del cono corrispondeva alla distanza uscita imbuto-piastra. Non per tutti i concimi è stato possibile ottenere un cono che raggiungesse l'imbuto, in quanto le quantità di concimi non erano sempre sufficienti a raggiungere l'altezza desiderata. Per questi concimi, l'altezza è stata corretta utilizzando un calibro per misurare la distanza tra la punta del cono e il foro di apertura dell'imbuto.

Le prove sono state ripetute 2 volte per ogni campione di concime.

### **3.3 Determinazione della scorrevolezza**

La stima della scorrevolezza è descritta dalla norma UNI (UNI EN 13299:2001).

La norma specifica un metodo per la determinazione della scorrevolezza di concimi solidi che scorrono liberamente. Il metodo non è applicabile a materiali in polvere (con diametro medio <0.5 mm) o a correttivi calcici e/o magnesiaci.

La determinazione della scorrevolezza mira a fornire una misura di confronto per il flusso di massa quando il concime scorre in uscita da una tramoggia o da un contenitori o durante lo spargimento.

Il principio di questa prova è quello di far scorrere 2 kg, provenienti da un campione di 3 kg di concime attraverso un imbuto calibrato dentro un contenitore posto su una bilancia.

Le apparecchiature necessarie sono:

- una bilancia con un portata di 3,5 kg e un'accuratezza di almeno  $\pm 1g$ .

- un imbuto dotato di saracinesca che al momento dell'apertura lasci completamente libero il passaggio al concime, come descritto e specificato nella norma UNI (UNI EN 1236:1997).
- un recipiente di raccolta che possa contenere circa 3kg di concime
- un cronometro, con accuratezza di 0,1 s

Inoltre per la taratura del metodo sono necessari:

- palline di vetro con densità 2,5 kg/dm<sup>3</sup>, con forma sferica di diametro 4mm ± 0,3 mm e superficie lucida
- setacci di prova: conformi alla ISO (ISO 3310-1:2000) con aperture delle maglie di 3,55mm e 4mm

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

- 1) Prima di utilizzare le palline di vetro è necessario setacciarle ed utilizzare solo quelle che rispettano le dimensioni richieste.
- 2) La taratura avviene con 3 kg ± 100 g di palline di vetro setacciate poste all'interno dell'imbuto con la saracinesca chiusa. Sotto di esso deve essere posto il recipiente collegato alla bilancia. Si procede quindi con l'apertura della saracinesca e contemporaneamente si inizia il conteggio del tempo con il cronometro. Raggiunti i 2 kg si ferma il tempo.
- 3) Per avere maggiore accuratezza la prova viene ripetuta più volte.

Dal risultato ottenuto si andrà a calcolare il coefficiente di taratura secondo la formula:

$$F = 10 \cdot \frac{\overline{t_{b,2}}}{t_{f,2}}$$

dove:

$\overline{t_{b,2}}$  è il tempo medio in secondi per far fluire 2 kg di sfere di vetro attraverso l'imbuto;

$t_{f,2}$  è il tempo medio in secondi per far fluire 2 kg di concime attraverso l'imbuto.

Nel laboratorio dell'azienda sperimentale "L. Toniolo" dell'università di Padova le prove sono state eseguite rispettando le norme e utilizzando i mezzi a disposizione.

Per questa analisi è stato appositamente costruito un imbuto rispettando la norma prevista; a motivo della stabilità della misura, la pesata veniva effettuata non in contemporanea ma successivamente alla procedura di flusso. Per ogni concime l'analisi è stata ripetuta 5 volte, in modo da aumentare la confidenza sui dati ed avere una stima della variabilità dei dati stessi.



Figura 3.3. Prova di flusso con le sfere di vetro per la taratura del metodo di stima della scorrevolezza del concime.

### **3.4 Determinazione massa volumica apparente (senza compattazione)**

La determinazione della massa volumica apparente senza compattazione è descritta dalla norma UNI (UNI EN 1236:1997).

La norma indica il metodo per la determinazione della massa volumica apparente, senza compattazione per i concimi solidi scorrevoli. Lo scopo è quello di determinare la massa per unità di volume di un materiale versato liberamente in un contenitore in condizioni specificate. La massa volumica apparente senza compattazione viene indicata in  $\text{kg/m}^3$ . Il concime viene versato attraverso un apposito imbuto in un cilindro di misurazione di volume noto e successivamente pesato il contenuto dello stesso.

L'attrezzatura necessaria secondo norma comprende:

- una bilancia: con approssimazione 0,1g
- un cilindro graduato senza beccuccio, con volume noto e approssimato al centimetro cubo
- un imbuto fissato saldamente
- una spatola o un raschietto con dimensioni di circa 120 mm x 20 mm.

Ogni parte delle apparecchiature che vanno in contatto con il concime deve essere di materiali resistenti a fenomeni corrosivi.

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

- 1) Si versare nell'imbuto a saracinesca chiusa una quantità di concime superiore a quella necessaria per riempire il cilindro di misurazione.
- 2) Si apre completamente la saracinesca dell'imbuto in modo che il concime si riversi all'interno del cilindro in un tempo compreso tra 6s e 12s. Se il concime non defluisce liberamente, mantenere libero lo scarico dell'imbuto aiutandosi con un bastoncino di diametro compreso tra 3mm e 4mm.
- 3) Quando il cilindro trabocca si chiude la saracinesca dell'imbuto e si rimuove il concime in eccesso utilizzando la spatola o un altro attrezzo. Bisogna evitare di sottoporre a vibrazioni il cilindro pieno al fine di evitare compattamento.
- 4) Si toglie il cilindro da sotto l'imbuto e si procede alla pesata con approssimazione di 1g (chiaramente sottraendo la tara).
- 5) Per avere maggiore accuratezza la prova viene ripetuta più volte.

La massa volumica apparente senza compattazione del concime in  $\text{kg/m}^3$  è data dalla formula:

$$\rho = m/v$$

dove:

m è la massa, in kilogrammi, di concime contenuto nel cilindro di misurazione

v è il volume del cilindro in metri cubi



Figura 3.4. Il cilindro graduato (a sinistra) e l'imbuto (a destra) utilizzati nella prova per la determinazione della densità apparente senza compattazione.

Nel laboratorio dell'azienda sperimenta "L. Toniolo" dell'università di Padova le prove sono state eseguite rispettando le norme e utilizzando i mezzi a disposizione.

Per questa prova è stato utilizzato l'imbutto già usato per la prova di flusso, in quanto in accordo con le dimensioni imposte dalla norma. Da quest'ultimo il concime è stato fatto fluire all'interno di un cilindro graduato a 1 litro (= 1 dm<sup>3</sup>) precedentemente pesato per la taratura della bilancia e la sottrazione automatica della tara dalle pesate. Una volta rasato il bordo per eliminare il concime in eccesso veniva effettuata la pesatura. Sono state fatte 5 ripetizioni per ogni concime. Dove la quantità di campione non permetteva di sottoporre alle 5 ripetizioni sottocampioni diversi la prova veniva ripetuta riutilizzando lo stesso campione

### **3.5 Determinazione della massa volumica apparente (dopo compattazione)**

La determinazione della massa volumica apparente senza compattazione è descritta dalla norma UNI (UNI EN 1237:1997).

La norma indica il metodo per la determinazione della massa volumica apparente dopo compattazione cioè: la massa, per unità di volume, di un materiale versato in un contenitore e compattato in condizioni specificate. Il metodo è applicabile a concimi solidi in grado di scorrere liberamente, ad esclusione di quelli in polvere e a concimi che contengono più del 20% in massa di particelle di dimensioni superiori ai 5mm.

Conoscere questa grandezza è necessario per dimensionare gli imballaggi, i magazzini ecc. Il risultato dovrebbe essere inferiore del 10% rispetto alla massa volumica apparente senza compattazione, ma si possono verificare anche valori più alti: questi variano infatti a seconda delle dimensioni del concime, dalla granulometria e dalla forma della superficie.

In genere la media tra i valori delle due masse volumiche apparenti, con e senza compattazione, è quella che si verifica nella pratica.

L'attrezzatura necessaria secondo norma comprende:

- una bilancia con approssimazione a 1 g
- un cilindro di misurazione in plastica, con diametro di 60mm, dotato di un collare trasparente di 100mm e un supporto con morsetto, come definito dalla ISO 3944 (ISO 3944:1992);

- una macchina compattatrice: con albero a camme che solleva il morsetto di guida, il supporto del cilindro e il cilindro di misurazione ad ogni giro dell'albero. La velocità di rotazione dell'albero a camme deve essere di  $250 \pm 15$  giri al minuto.
- una spatola o un raschietto con dimensioni di circa 120 mm x 20 mm.

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

- 1) Si versa nell'imbuto a saracinesca chiusa una quantità di concime superiore a quella necessaria per riempire il cilindro di misurazione.
- 2) Si apre completamente la saracinesca dell'imbuto in modo che il concime si riversi all'interno del cilindro in un tempo compreso tra 6s e 12s; se il concime non defluisce liberamente, si può mantenere libero lo scarico dell'imbuto aiutandosi con un bastoncino di diametro compreso tra i 3 mm e i 4 mm.
- 3) Si rimuove da sotto l'imbuto il cilindro di misurazione, si inserisce il collare e si aggiunge a mano una quantità di concime tale che, dopo la compattazione, il concime superi di alcuni centimetri il bordo superiore del cilindro.
- 4) Si fissa quindi il cilindro di misurazione al supporto di compattazione e si aziona la macchina fino al completamento di 2500 giri dell'albero.
- 5) Si rimuove il cilindro dalla macchina compattatrice, si leva il collare e utilizzando la spatola si rimuove il concime accumulatosi sopra il bordo del cilindro di misurazione.
- 6) Si pesa il contenuto del cilindro con approssimazione a 1 gr.
- 7) Per avere maggiore accuratezza la prova viene ripetuta più volte.

La massa volumica apparente dopo compattazione del concime, è data in  $\text{kg/m}^3$ , dalla formula:

$$\rho_t = m / v$$

dove:

m è la massa di concime, in kilogrammi, contenuta nel cilindro dopo la compattazione  
v è il volume in metri cubi del cilindro di misurazione.



Figura 3.5. La macchina compattatrice (a sinistra) ed il cilindro graduato con il collare di contenimento (a destra).

Nel laboratorio dell'azienda sperimenta "L. Toniolo" dell'università di Padova le prove sono state eseguite rispettando le norme e utilizzando i mezzi a disposizione.

Anche per questa prova sia l'imbuto che il cilindro di misurazione, già utilizzati in altre prove, rispettavano le dimensioni richieste dalla normativa. Al cilindro di misurazione è stato aggiunto il collare di contenimento. Per la macchina compattatrice è stato utilizzato un motore elettrico impiegato anche per il setacciamento nella prova granulometrica, dotato di supporto per il cilindro e di tappi in teflon che ad ogni giro trasmettevano un movimento verticale al cilindro. La macchina azionata a 125 giri/min ed operata per 10 min produceva le 2500 scosse necessarie per il compattamento. La prova è stata ripetuta 3 volte quando il campione era instabile e in quantità sufficiente per permettere prove multiple; negli altri casi la prova è stata eseguita una sola volta per concime.

### **3.6 Analisi granulometrica**

L'analisi granulometrica dei concimi è descritta dalla norma UNI (UNI EN 1235:2004).

La norma descrive il metodo per la determinazione della distribuzione granulometrica di concimi solidi mediante setacciatura.

L'attrezzatura necessaria secondo norma comprende:

- una bilancia: con approssimazione di 0.1g



- dei setacci di prova in rete metallica di acciaio inossidabile (al massimo 7) di diametro 200 mm, conformi alla ISO (ISO 3310-1:2000), con coperchio e raccoglitore finale per setacci
- un agitatore meccanico di setacci, in grado di comunicare un movimento orizzontale e verticale al materiale contenuto all'interno di una colonna di setacci
- un cronometro
- un pennello morbido.

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

- 1) La quantità minima di campione su cui eseguire la prova è stabilito dal prospetto 1 della norma sopracitata e varia tra i 60 e i 500 cm<sup>3</sup> a seconda della dimensione della maglia del setaccio (UNI EN 1235:2004).
- 2) Rispettando la norma ISO (ISO 565:1990), viene preso un numero massimo di 7 setacci che coprono la gamma granulometrica prevista, provvisti di contenitore finale, coperchio per setacci e disposti in ordine crescente dal basso verso l'alto di ampiezza delle maglie uno sull'altro e poste sull'agitatore meccanico.
- 3) Pesato il campione con una precisione di 0,1 g, viene posto sul primo setaccio, messo il coperchio e agitato per 10 minuti. Una volta conclusa questa operazione si rimuovono i setacci e per ognuno viene effettuata la pesata del materiale presente in esso. Nel caso ci siano particelle incastrate è possibile rimuoverle utilizzando il pennello.
- 4) Per avere maggiore accuratezza la prova viene ripetuta più volte.



Figura 3.6. La macchina utilizzata per agitare meccanicamente i setacci (a sinistra) ed i 4 setacci utilizzati nell'ambito del presente lavoro di tesi (a destra).

Nel laboratorio dell'azienda sperimenta "L. Toniolo" dell'università di Padova le prove sono state eseguite rispettando le norme e utilizzando i mezzi a disposizione.

Le prove sono state fatte rispettando la norma; i 5 setacci scelti avevano dimensione delle maglie rispettivamente di :4,75mm, 4mm, 3,55mm, 2mm ed 1mm più contenitore finale e coperchio.

La granulometrie analizzate sono state quindi:  $>4,75$ ;  $4 \div 4,75$  ;  $3,55 \div 4$  ;  $1 \div 2$  ;  $<1$

Il quantitativo di campione da utilizzare è stato fissato in 1 kg. Al fine di migliorare la precisione e per avere una stima della variabilità delle misure, il quantitativo è stato suddiviso in 5 sottocampioni da 200 gr ciascuno.

Ogni sottocampione è stato posto sui vagli e setacciato per 1 minuto, tempo sufficiente per una buona vagliatura del prodotto, con minimizzazione dei fenomeni di usura e rottura dei granuli per sfregamento e urti. Alla fine di ogni vagliatura il contenuto di ogni setaccio veniva posto in 5 diversi contenitori tarati, uno per ogni dimensione granulometrica, e pesati. Sul contenitore finale andavano a depositarsi le particelle inferiori ad 1 mm e la polvere, di cui veniva indicata la presenza.

### 3.7 Carico di rottura

La determinazione del carico di rottura per i concimi non è descritta in nessuna norma internazionale, è riconosciuta però la determinazione del punto di rottura utilizzando un dinamometro e un banco di prova dinamometrico.

L'attrezzatura necessaria comprende:

- un dinamometro elettrico con possibilità di impostare la rilevazione del picco massimo
- un banco di prova dinamometrico provvisto di pistone che porta le particelle verso il sensore del dinamometro a velocità regolabile



Figura 3.7. Il banco di prova dinamometrico utilizzato nell'ambito delle prove.

Il procedimento per la misura è riassunto nei seguenti passaggi.

1) Dopo aver eseguito l'analisi granulometrica, per ogni misura dei vagli viene prelevato un numero di granuli (12 nell'ambito del presente lavoro di tesi).

2) Ogni granello viene posto sulla piastra del banco di prova, e viene quindi eseguita la prova di carico fino a giungere alla rottura del granulo stesso: il carico di rottura è riconoscibile come valore di picco segnalato dalla cella di carico.

Nell'azienda sperimentale "L. Toniolo" dell'università di Padova questa prova è stata eseguita seguendo questo procedimento.

In aggiunta i 12 granelli, prima della misura del carico di rottura, sono stati scansionati tramite uno scanner per la determinazione della forma.

### **3.8 Altre prove**

Per avere un panorama più completo e preciso sulle caratteristiche dei concimi esistono altre prove da eseguire, le quali però non sono ancora contemplate dalla normativa internazionale

Oltre alla prova sopracitata per la determinazione della durezza ve ne sono altre rilevanti (non state condotte nell'ambito del presente lavoro di tesi), come descritto nel seguito.

#### SFERICITÀ

Esistono vari metodi per la determinazione della sfericità.

Ad esempio si può misurare facendo scorrere un campione di concime lungo un piano inclinato con pendenza del 12% lungo 600mm e valutare la proporzione di granuli che percorrono completamente il piano (Rousselet and Eveillard, 2009).

#### FRIABILITÀ

Per la determinazione della friabilità, uno dei metodi ritenuti più efficace è il 'Canada test'. Questa prova permette di stimare la percentuale di particelle rotte al passaggio del campione del concime all'interno di un ciclone alimentato da una portata d'aria controllata (Rousselet and Eveillard, 2009).

## POLVEROSITÀ

Per la determinazione del tasso di polverosità, un procedimento utilizzabile è il “test TVA”. Tale test permette di valutare il tasso di polverosità determinando la perdita in peso di un campione di concime, che viene introdotto dall’alto in una colonna di 1 mm, dotata di griglia per la dispersione del campione e nella quale circola una corrente d’aria ascendente. La differenza di peso tra il campione di concime in entrata e quello in uscita dà un’indicazione della frazione polverosa (Rousselet and Eveillard, 2009).

## ASSORBIMENTO DI UMIDITÀ

Per la determinazione dell’assorbimento di umidità, una prova abdicabile prevede di esporre il campione di concime per 24 ore a condizioni di atmosfera controllata con il 75% di umidità e una temperatura di 25C°. L’evoluzione di peso dopo questo periodo permette di valutare questa caratteristica. In generale è auspicabile una variazione vicina allo zero, al fine di garantire una buona qualità del prodotto.

## TENDENZA AD AGGLOMERARE

Per la determinazione della tendenza ad agglomerare, si possono prelevare gli agglomerati presenti in un campione ed andare a testare il loro carico di rottura utilizzando, per esempio, una centrifuga al cui interno mettere gli agglomerati ed azionarla a 4000 giri/min per un’ora ad una temperatura di 35C°. I valori dovranno essere di circa 5 kgf (50 newton): al di sopra di questo valore la tendenza ad agglomerare sarà molto alta.



## Capitolo 4

# PROVE SPERIMENTALI E RISULTATI

### 4.1 Concimi analizzati

Le regolazioni delle macchine per la distribuzione del concime devono essere fatte in base al tipo di concime che si va ad utilizzare. In genere le indicazioni per la regolazione dovrebbero fornire dalle aziende produttrici di concime e di macchine per la distribuzione, e dovrebbero includere le caratteristiche fisiche meccaniche del concime stesso, quali diametro, densità, flusso e carico di rottura. Quel che si riscontra normalmente invece è una dichiarazione delle caratteristiche chimiche del concime da analizzare, con una quasi completa assenza di riferimenti e dati sulle altre proprietà.

Trovare questi dati specifici sui concimi dunque non è così semplice e le aziende produttrici che forniscono i dati sono molto poche: durante la ricerca sono stati recuperati solo alcuni valori riferiti ad Ameropa, Yara e Compo, ma con valori sui vari parametri molto generici.

Per portare degli esempi, l'azienda produttrice norvegese Yara, per il concime "Yara Vera" dà indicazioni sul diametro medio pari a 3.8 mm, senza indicazioni sulla variabilità e sulla distribuzione percentuale di granuli con diametro maggiore o minore, e per la densità dà valori variabili tra 785 e 737 kg/m<sup>3</sup> quindi con un intervallo di variabilità (superiore al 6%).

Ancora più alta è la variabilità sui dati forniti da Compo, con densità dell'Entec46 compresa tra 700 e 780 kg/m<sup>3</sup>, cioè con un intervallo di variabilità superiore al 10%

Gli unici dati che si possono recuperare per una vasta gamma di concimi, o comunque per i concimi più utilizzati, sono forniti da alcune ditte produttrici di macchine per la distribuzione dei concimi solidi, quali Bogballe o Amazone.

Queste aziende forniscono tali dati in quanto riferimenti necessari per una corretta regolazione e di conseguenza un corretto funzionamento delle macchine; tuttavia i valori forniti da queste aziende non risultano verificati né controllati da enti terzi, non fanno riferimento alla norma e sono da considerarsi quindi puramente indicativi. Un esempio abbastanza evidente riguarda il caso del valore del flusso: i dati per questo parametro sono infatti riportati con unità e dimensioni diversi da quanto specificato dalla norma sia per Amazone che per Bogballe, e molto probabilmente sono stimati con riferimento alle tramogge e alle aperture impiegate nelle macchine delle due aziende.

Questo lavoro di tesi ha come obiettivo quello di capire e stimare la variabilità dei dati forniti nel mercato e la loro ripetibilità, confrontandoli ai valori ottenuti dalle analisi eseguite in laboratorio in conformità alle indicazioni e alle procedure delle norme internazionali.

Tabella 4.1. Concimi selezionati per le analisi, scelti tra i più diffusi.

	Concime	Azienda produttrice	Tipo di concime
1	NPK 5-10-25	Arpa spa	granulato (sferico)
2	Kalisop solfato di potassio 60	Kali	compattato
3	Entech 25-15 (NP)	Eurochem Agro	granulato (sferico)
4	Cloruro di potassio 60	Arpa spa	compattato
5	Nitrophoska special 12-12-17 (2-20)	Eurochem Agro	granulato (sferico)
6	NPK 8-16-20 (2-5)	Adriatica Spa	compattato
7	Yara Mila Universal	Yara International	granulato (sferico)
8	Yara Liva Tropicote	Yara International	granulato (sferico)
9	Fosfato Biammonico NP 18-46	Adria Est spa	granulato (sferico)
10	Leon	Yara International	granulato (sferico)
11	Urea46	Ameropa Italia srl	Prilled
12	Yara Vera urea 46	Yara International	granulato (sferico)
13	Multicote	Flora power	granulato (sferico)
14	Vigortop 60	SCAM spa	granulato (sferico)
15	Agrinutrient Fe	Agribios spa	compattato
16	Entech 46	Eurochem Agro	granulato (sferico)
17	NPK 8-24-24	Adriatica Spa	compattato
18	Perlka	Alz chem	granulato (sferico)
19	Biorex	Italpollina	pellettato
20	Gea orto	Camaiti srl	granulato (sferico)

In questa tesi sono stati analizzati 20 concimi, ritenuti più interessanti in quanto più usati e presenti nel nostro territorio.

I concimi sottoposti a prove sono riassunti nella tabella 4.1, e dettagliati nel seguito.

1. Concime NPK 5-10-25: è composto per il 5% N (di cui 4,5% N ammoniacale), 10%  $P_2O_5$  solubile in acidi minerali (di cui 8%  $P_2O_5$  solubile in  $H_2O$  e acido ammonico citrato, 2%  $P_2O_5$  solubile unicamente in acidi minerali, 7%  $P_2O_5$  solubile unicamente in  $H_2O$ ), 25%  $K_2O$  (solubile in  $H_2O$ ), 7%  $CaO$  (solubile in  $H_2O_9$ ; 19%  $SO_3$  (di cui 10%  $SO_3$  solubile in  $H_2O$ ). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
2. Kalisop solfato di potassio 60: è composto per il 50%  $K_2O$  (solubile in  $H_2O$ ), 45%  $SO_3$  (solubile in  $H_2O$ ). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
3. Entech 25-15 (NP): è composto per il 25% N (di cui 11% N nitrico, 14% N ammoniacale),  $P_2O_5$  (solubile in citrato ammonico neutro e in  $H_2O$ , di cui 11% solubile in  $H_2O$ ). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
4. Cloruro di potassio 60: è composto per il 60%  $K_2O$  solubile in  $H_2O$ . Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
5. Nitrophoska special 12-12-17 (2-20): è composto per il 12% N (di cui 5% nitrico, 7% ammoniacale), 12%  $P_2O_5$  (solubile in citrato ammonico neutro e in  $H_2O$ , di cui 7,8% solubile in  $H_2O$ ), 17%  $K_2O$ , 2%  $MgO$  (di cui 1,6% solubile in  $H_2O$ ), 20%  $SO_3$  (di cui 16% solubile in  $H_2O$ ), 0,02% B, 0,01% Zn. Per questo concime sono stati testati tre campioni: due dell'anno 2013 (provenienti uno da un luogo di stoccaggio in provincia di Venezia e l'altro fornito dall'azienda sperimentale "L. Toniolo" dell'università di Padova) e il terzo campione dell'anno 2012 fornito da un privato residente in provincia di Rovigo.
6. NPK 8-16-20 (2-5): è composto per il 8% N (di cui 4% N ammoniacale, 4% N ureico) 16%  $P_2O_5$  (di cui 5%  $P_2O_5$  solubile in citrato ammonico neutro e in  $H_2O$ , 3%  $P_2O_5$  solubile in  $H_2O$ ), 11%  $P_2O_5$  (solubile in acidi minerali), 20%  $K_2O$  tot 8solubile in  $H_2O$ ) 2%  $MgO$  tot. Per questo concime sono stati testati due campioni entrambi dell'anno 2013: uno proveniente da un luogo di stoccaggio in provincia di Venezia e l'altro fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco.



7. Yara Mila Universal: è composto per il 15% N tot, di cui 9,5% N ammoniacale, 5,5% N nitrico, 15%  $P_2O_5$  (solubile in citrato ammonico e  $H_2O$ , di cui 12% solubile in  $H_2O$ ), 15%  $K_2O$  (solubile in  $H_2O$ ), 5%  $SO_3$  tot (di cui 4% solubile in  $H_2O$ ). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
8. Yara Liva Tropicote: è composto per il 15,5% N (di cui 14,4% N ureico, 1,1% N ammoniacale) 26,6%  $CaO$  solubile in  $H_2O$ . Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco.
9. Fosfato Biammonico NP 18-46: è composto per il 18% N ammoniacale, 46%  $P_2O_5$  (solubile in citrato ammonico neutro e in  $H_2O$ , di cui 41,4% solubile in  $H_2O$ ). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
10. Leon: è composto per il 26% N (di cui 13% N ammoniacale, 13% N nitrico), 10%  $CaO$ , 2,5%  $MgO$ . Tipo di concime: granulato (sferico). Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
11. Urea 46: 46% azoto (N) totale espresso come azoto ureico. Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
12. Yara Vera urea 46: è composto per il 46% azoto ureico. Per questo concime sono stati testati due campioni entrambi dell'anno 2013: uno fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco, l'altro dall'azienda sperimentale "L. Toniolo" dell'università di Padova.
13. Multicote: è composto per il 14% N (di cui 6,5% N nitrico, 7,5% N ammoniacale), 7%  $P_2O_5$  solubile in citrato ammonico neutro e  $H_2O$  (di cui 5,9% solubile in  $H_2O$ , 14%  $K_2O$  solubile in  $H_2O$ ), 2%  $MgO$  solubile in  $H_2O$ , a basso tenore di cloro, contiene B, Fe, Mn e Zn. Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco.
14. Vigortop 60: è composto per il 10% N (di cui 1% organico, 2,5% ammoniacale, 1,5% ureico, 5% da urea condensata con aldeidi), 6%  $P_2O_5$  (di cui 6% solubile in citrato ammonico neutro e  $H_2O$ , 3,6% solubile in  $H_2O$ ), 14%  $K_2O$  solubile in  $H_2O$ , 2%  $MgO$  (di cui 0,7% solubile in  $H_2O$ ), 21%  $SO_3$  (di cui 11% solubile in  $H_2O$ ), 0,1% B, 2% Fe, 0,001% Zn, 7,5% C organico di origine biologica, 2,7% C organico umico e fulvico. Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco.

15. Agrinutrient Fe: è composto per il 4% MgO, 35%SO<sub>3</sub> solubile in H<sub>2</sub>O, 0.6% Mn, 12% Fe, 0.06% Zn. Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito dalla soc. agr. Vivai e piante di Magagna Marco.
16. Entech 46: è composto per il 46% N ureico. Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito da un privato residente in provincia di Rovigo.
17. NPK 8-24-24: è composto per il 8% N ammoniacale, 24% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (di cui 18% solubile in citrato ammonico neutro e H<sub>2</sub>O, 15% solubile in H<sub>2</sub>O, 6% solubile unicamente in acidi minerali), 24% K<sub>2</sub>O solubile in H<sub>2</sub>O. Il campione testato è del 2013, e proviene da un luogo di stoccaggio della provincia di Venezia.
18. Perlka: è composto per il 19.8% N (calcio cianammid). Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito da un privato residente in provincia di Rovigo.
19. Biorex: è composto per il 2.8% N, 3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2% K<sub>2</sub>O (solubile in H<sub>2</sub>O), 38% C organico di origine biologica, 65% sostanza organica. Il campione testato è del 2013, ed è stato fornito da un privato residente in provincia di Padova. Su questo concime non è stato possibile procedere con le analisi, in quanto la sua forma pellettata non permetteva di rispettare le normative.
20. Gea orto: contiene Azoto (in parte a lenta cessione), 25% zolfo, fosforo, potassio e in quantità minori magnesio, rame e zinco. Su questo concime non è stato possibile procedere con le analisi, in quanto i granuli, a causa della forte presenza organica, presentavano caratteristiche che non consentivano il corretto svolgimento delle prove.

Come già detto nel capitolo precedente, le prove eseguite per ogni campione sono state per le determinazioni di:

- angolo di riposo statico
- flusso
- massa volumica apparente, senza compattazione
- massa volumica apparente, dopo compattazione
- granulometrica



Figura 4.1. Foto rilevate dopo la prova per la stima dell'angolo di riposo statico per 19 dei concimi analizzati. I concimi Biorex e Gea Orto non sono inclusi in quanto la forma pellettata per il primo e l'elevata plasticità causata dall'alto tenore organico del secondo non hanno consentito la corretta esecuzione dei test.

## 4.2 Risultati più importanti

Tutti i dati misurati per ogni concime sono riportati in appendice, vengono invece riportati qui di seguito i confronti più interessanti sulle misure stesse.

Densità e diametro giocano un ruolo molto importante sulla larghezza di spaglio, come già detto in precedenza, avendo queste caratteristiche fisiche un'influenza che possiamo dire in prima approssimazione lineare rispetto alla massima distanza raggiunta in campo durante le operazioni di spaglio.

Per quanto riguarda la densità in particolare, possiamo dire che è una misura di facile esecuzione, non richiedendo attrezzature particolarmente specializzate e fornendo dati con una buona ripetibilità. Per questo motivo è infatti, uno dei pochi valori forniti dai produttori di concimi (seppure con intervalli di variabilità raramente inferiori al 5%).

I dati ottenuti nelle analisi eseguite sui concimi sopra citati, risultano essere abbastanza in linea con quelli forniti da Bogballe e Amazone, come da grafico (Figura 4.2).

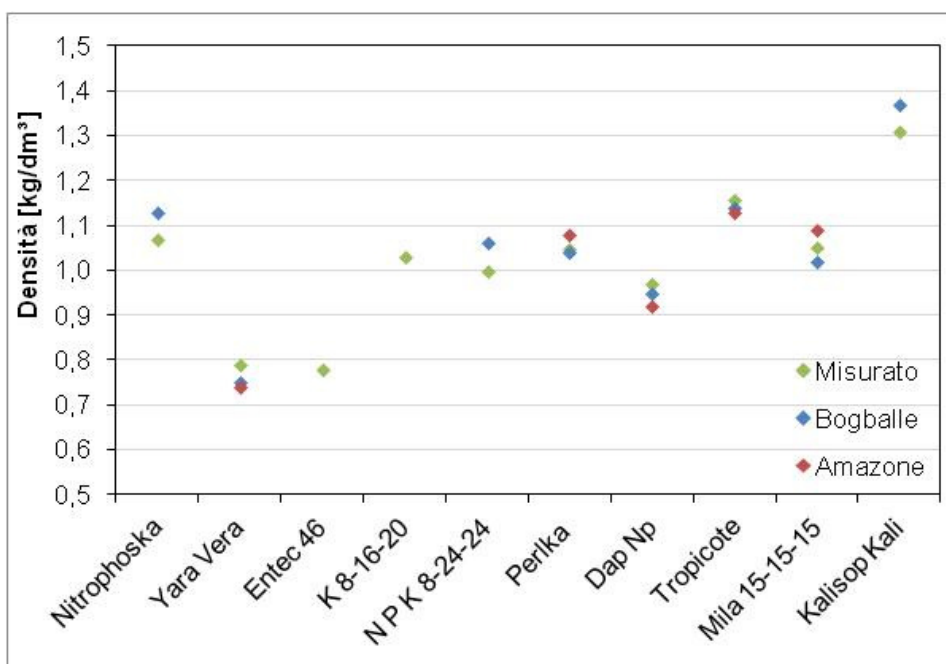


Figura 4.2. Confronto tra i valori di densità misurati in laboratorio e quelli resi disponibili nei siti di Bogballe e Amazone per alcuni dei concimi analizzati

Come si può notare, c'è una buona corrispondenza in particolare nel caso di concimi come Perlka, Tropicote e Yara Vera; deviazioni via via superiori si riscontrano per Dap NP (fosfato biammonico NP 18-46), Yara Mila, Kalisop e NPK 8-24-24, quest'ultimo con deviazione superiore al 6%.

Per quanto riguarda il diametro invece l'analisi granulometrica è certamente più complessa perché, come detto in precedenza, richiede una vagliatura eseguita con un'attrezzatura adatta. Inoltre i concimi stessi risultano di dimensioni molto irregolari e influenzate non solo dal tipo di processo di produzione, ma anche da numerosi fattori esterni, spesso poco controllabili. Si possono verificare, ad esempio:

- fenomeni di segregazione, con i granelli più piccoli che vanno a depositarsi sul fondo dei sacchi durante lo stoccaggio
- urti e rotture, con una proporzionale diminuzione del diametro medio
- fenomeni di agglomerazione, spesso causate da umidità, con conseguente aumento del diametro medio.

Molto raramente le aziende produttrici forniscono dunque dati sulla granulometria, e quando riportati non sono accompagnati da indicazioni sull'incertezza o sulla variabilità del dato.

I dati riportati sul grafico di seguito (Figura 4.3) sono sintomatici di questa situazione.

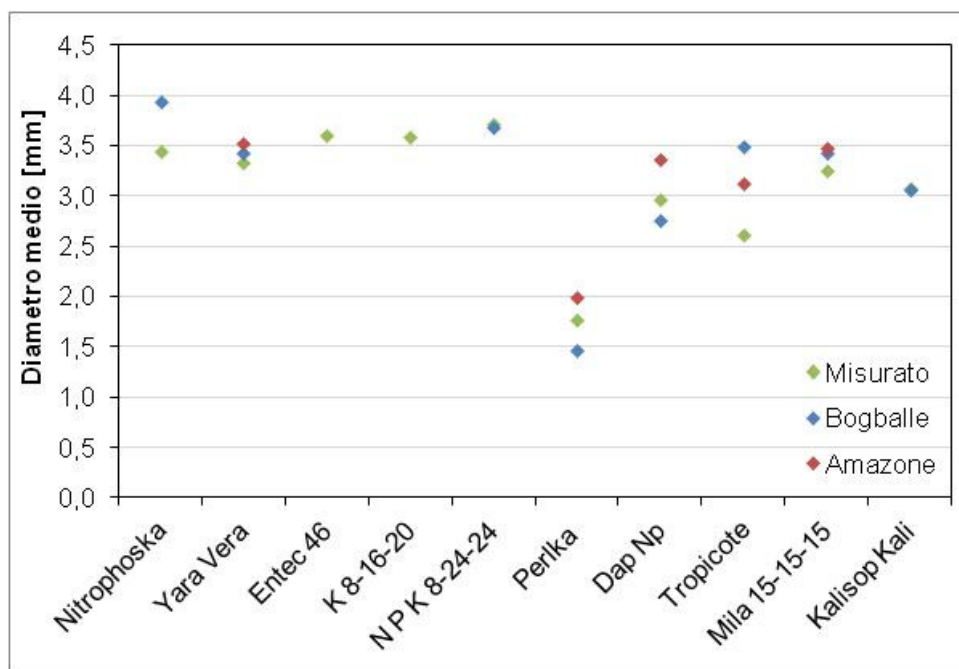


Figura 4.3. Confronto tra i valori di diametro medio misurati in laboratorio e quelli resi disponibili nei siti di Bogballe e Amazone per alcuni dei concimi analizzati

Per il diametro medio è possibile identificare una buona corrispondenza tra i dati misurati in laboratorio e quelli forniti da Bogballe e Amazone solo nel caso di Yara Mila, Kallisop, NPK e Yara Vera, dove le deviazioni sono inferiori al 5%.

Le differenze vanno aumentando nel caso di Nitrophoska, Perlka, Dap NP (fosfato biammonico NP 18-46), fino al caso del concime Tropicote dove si può riconoscere una differenza sul diametro medio stimato superiore al 34%.

Per comprendere l'importanza di questo dato basti pensare che una differenza di questa entità porta a una differenza sulla larghezza di distribuzione prevista di oltre 5 metri (con la macchina in condizione di regolazione standard), passando da una media prevista di 10 metri, usando il diametro misurato nelle prove di laboratorio, a una media prevista di quasi 15 metri se si usasse il valore indicato da Bogballe.

Anche i parametri di flusso, pur non forniti da nessun produttore, risultano essere molto importanti. Da questo parametro infatti dipende la quantità di concime in uscita dalla tramoggia: è quindi questo valore molto importante per chi distribuisce (e in effetti sia Bogballe che Amazone forniscono questo dato nei loro manuali), tuttavia i dati sono dimensionati più sulla struttura e sul funzionamento di tramoggia e apertura che su quanto previsto dalla norma. Per questo motivo, al fine di rendere i dati confrontabili, è stata eseguita una normalizzazione portando tutti i dati all'unità di misura di g/s. Alcuni risultati sono riportati nel grafico sotto (Figura 4.4)

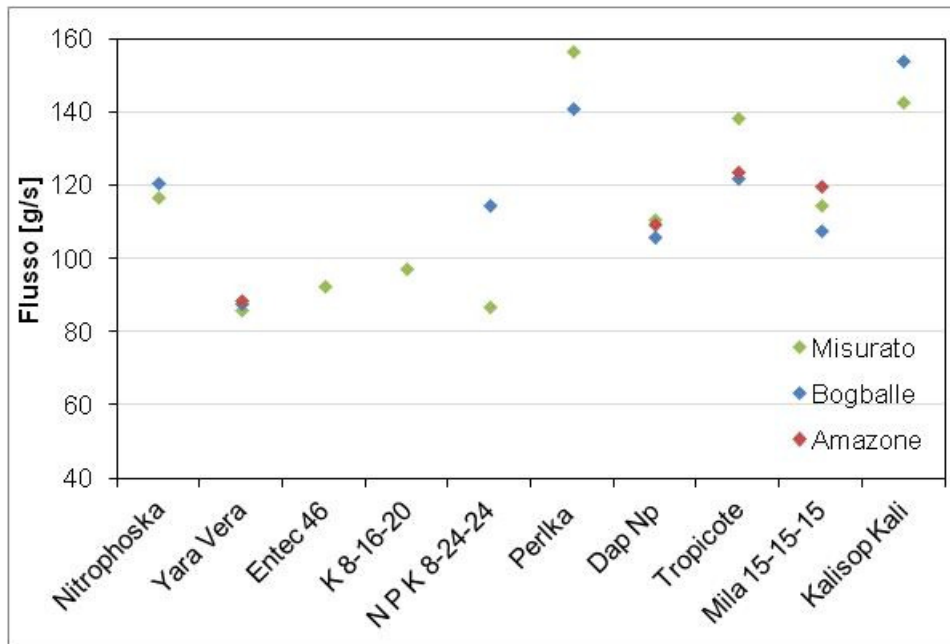


Figura 4.4. Confronto tra i valori di flusso misurati in laboratorio e quelli resi disponibili nei siti di Bogballe e Amazone per alcuni dei concimi analizzati

È chiaro come concimi diversi abbiano fattori di flusso diversi, passando dagli 87 g/s del concime NPK 8-24-24 fino ai 156 g/s del concime Perlka. Differenze molto alte, fino al

50%, dimostrano quanto sia importante stimare questo parametro. Infatti, se non ne viene tenuto conto, a parità di regolazione dell'apertura della tramoggia la distribuzione potrà variare in modo corrispondente per gli stessi due concimi da 87 kg/ha a 156 kg/ha.

I dati forniti da Bogballe e Amazone sono in linea con i dati ottenuti in laboratorio nel caso di concimi come Nitrophoska, Yara Vera e Dap Np (fosfato bi ammonico Np-46) con deviazioni inferiori al 5%, e presentano scostamenti via via maggiori per concimi quali Tropicote, Yara Mila, Perlka, Kalisop, fino alla differenza massima per il concime NPK 8-24-24 dove è stata rilevata una variabilità maggiore al 26%. Questo significa che in questo caso la variabilità di quantitativo di distribuzione potrebbe andare da 84 kg/ha a 126 kg/ha, calibrando la macchina distributrice per una quantità in uscita di 100 kg/ha.

Un altro dato rilevante per la distribuzione dei concimi è il punto di rottura, cioè come già detto in precedenza, il carico massimo che un granello di concime riesce a sopportare prima di giungere alla rottura.

Anche in questo caso i pochi dati disponibili sono quelli riportati dall'azienda produttrice di macchine per la distribuzione Bogballe, che indica valori di riferimento per ogni concime. In realtà un valore singolo è sensato solo per pochi concimi, e in particolare per quelli che presentano un carico di rottura costante, indipendente dalle dimensioni del granulo. Tra quelli presi in esame in questa tesi questo si è verificato solo per i concimi Multicote, Vigortop e Perlka. Per tutti gli altri concimi è risultata evidente invece una forte dipendenza lineare tra diametro e carico di rottura.

Questo è messo in luce, a titolo di esempio, nel grafico (Figura 4.5), dove è riportato il caso del concime Dap NP (fosfato bi ammonico NP 18-46). In questo concime (ma è un comportamento che si ripete analogo in quasi tutti gli altri concimi analizzati) si può notare come, raddoppiando il diametro, raddoppi anche il carico di rottura, con una forte correlazione indicata dal coefficiente di determinazione lineare  $R^2 = 0.96$ .

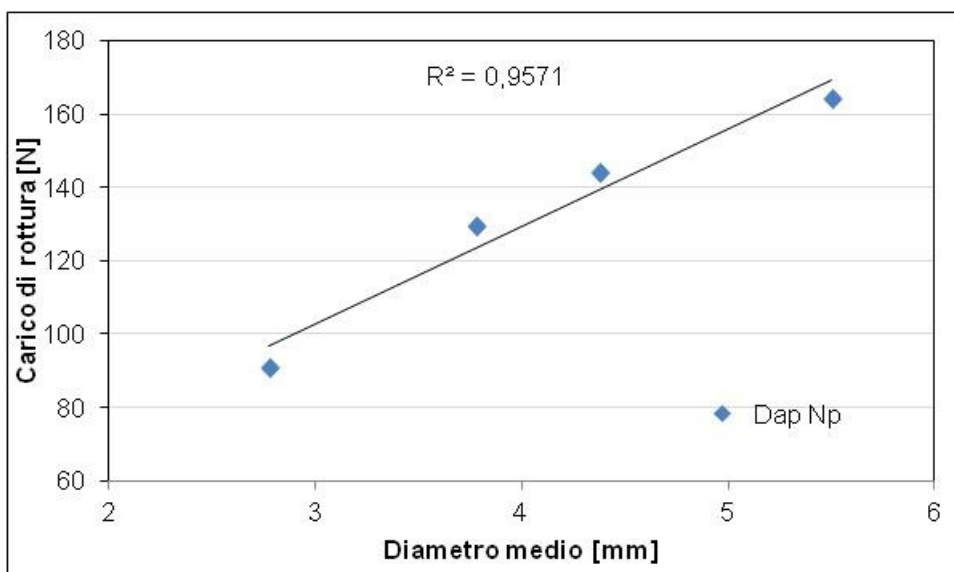


Figura 4.5. Dipendenza tra i valori di carico di rottura ed il diametro medio dei granuli, nel caso del concime Dap NP

È importante sottolineare come le forti variabilità che si riscontrano nella stima dei parametri e nei confronti con i dati disponibili in rete o presso le aziende produttrici sono da ricondursi non solo all'accuratezza con cui vengono condotti i test dai vari enti, ma anche, e a volte soprattutto, alla variabilità intrinseca del prodotto.

Per questo motivo sono state eseguite prove ripetute su uno stesso tipo di concime proveniente però da anni e/o lotti diversi. Nel grafici che seguono (Figure 4.6, 4.7 e 4.8) sono riportati i risultati relativi al flusso, alla densità e al diametro.

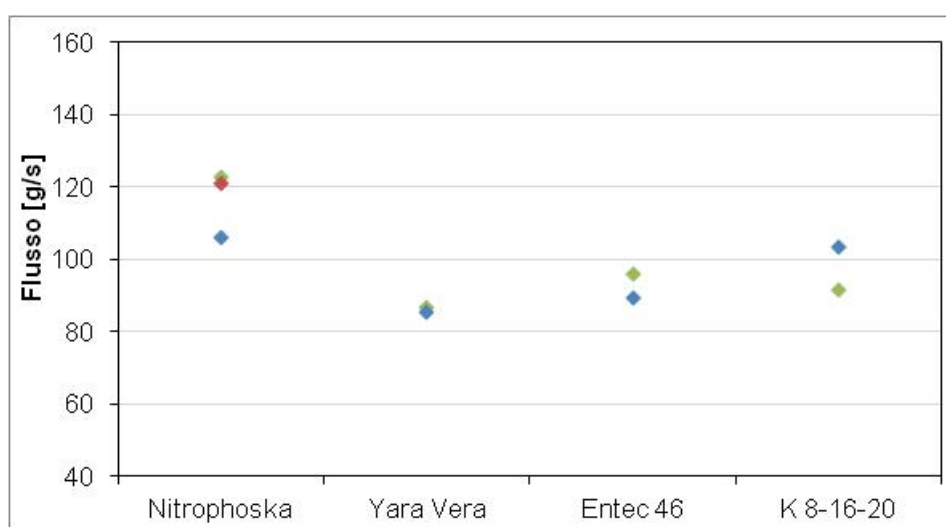


Figura 4.6. Confronto dei valori di flusso misurati su 3 lotti diversi di Nitrophoska e 2 lotti diversi di Yara Vera, Entec 46 e K 8-16-20.



Osservando il comportamento del flusso le variabilità più alte si verificano nel concime Nitrophoska, con variazioni del 15% passando da campioni di annate o lotti diversi. Variabilità meno consistenti si notano in K 8-16-10, Entec46 e Yara Vera, che risulta essere il concime con minori variazioni tra campioni di lotti o anni diversi.

Le variazioni possono dipendere, non solo dai motivi sopracitati, ma anche dalle modalità di conservazione e dall'ambiente in cui avviene lo stoccaggio.

La densità è il parametro in cui si verifica meno variabilità con il passaggio da un lotto ad un altro o con campioni provenienti da anni diversi. Il concime in cui la variabilità è risultata maggiore è stato l'Entech46, molto leggera per Nitrophoska e quasi nulla per K8-16-20 e Yara Vera.

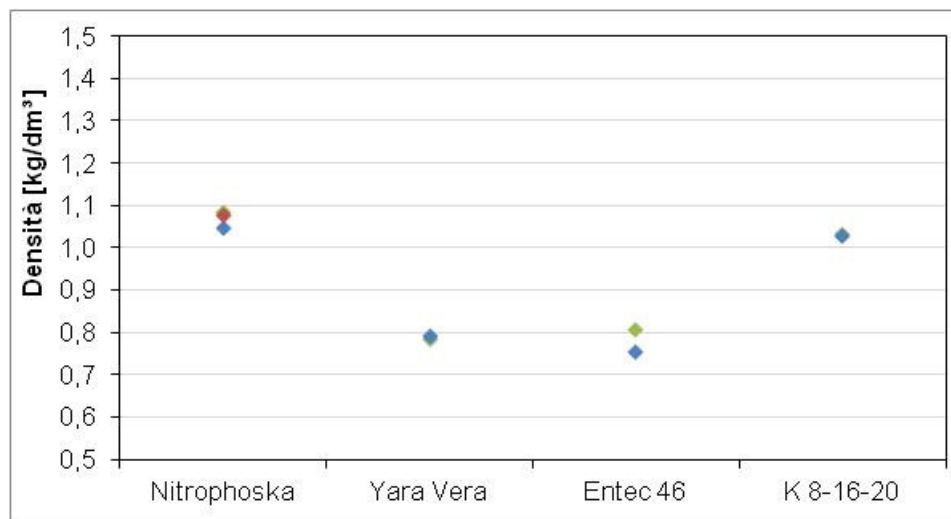


Figura 4.7. Confronto dei valori di densità misurati su 3 lotti diversi di Nitrophoska e 2 lotti diversi di Yara Vera, Entec 46 e K 8-16-20.

Per quanto riguarda il diametro, è risultato essere il valore più scostante tra i vari campioni. Variabilità molto alte anche superiori al 25% sono state riscontrate per Nitrophoska ed Entech46, mentre variabilità leggermente più contenute ma comunque non trascurabili (di poco inferiori al 20%) si sono riscontrati per Yara Vera e K 8-16-20.

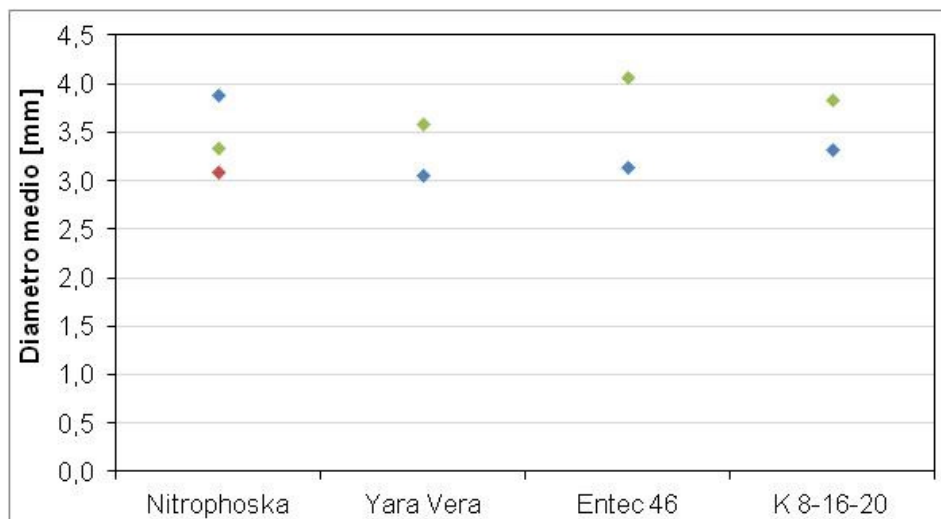


Figura 4.8. Confronto dei valori di diametro medio misurati su 3 lotti diversi di Nitrophoska e 2 lotti diversi di Yara Vera, Entec 46 e K 8-16-20.

Per quest'ultimo parametro in particolare le variazioni sono da attribuire sicuramente al sistema di produzione, ma è necessario considerare anche le modificazioni che possono essere intervenute durante le varie movimentazioni del prodotto e la sua conservazione.



## Capitolo 5

# CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi, partendo dall'importanza della concimazione, sono state fatte delle ricerche per capire come le caratteristiche fisico-meccaniche dei concimi influiscano su questa pratica.

Selezionati i principali concimi presenti nel territorio nazionale, sono stati ricavati i principali dati riferiti alle caratteristiche di fluidità, densità, granulometria e angolo di riposo statico e carico di rottura, i quali vengono utilizzati per definire le tarature e le regolazioni delle macchine spargi concime

Questi dati sono stati ottenuti eseguendo delle analisi, di determinazione: della massa volumica apparente senza compattazione, massa volumica apparente dopo compattazione, fluidità, angolo di riposo statico granulometria e carico di rottura, in accordo con le procedure indicate dalla normativa internazionale.

Analizzando i dati ottenuti e confrontandoli tra loro e con quelli disponibili nel mercato, è emersa una bassa variabilità per quanto riguarda il parametro densità, mentre sono stati riscontrati variabilità più consistenti per quanto riguarda i fattori di flusso e il diametro. Interessante è il comportamento del carico di rottura a cui si è ricondotta una forte dipendenza dal diametro. Trovandosi quindi nella situazione di non poter definire un singolo parametro, a causa della forte variabilità delle dimensioni dei concimi, sarebbe necessaria una norma, ancora non esistente, che regolasse la definizione di questo importante parametro.

Confrontando dei campioni di annate e lotti diversi di concimi Nitrophoska, Entech 46, Yara Vera e K 8-16-20 è emerso che, per il concime Nitrophoska la variabilità del flusso si è dimostrata molto alta, mentre risulta più contenuta per gli altri.

Per quanto riguarda la fluidità invece, i dati risultano abbastanza costanti, in tutti i concimi, con una lieve variazione solo nel caso dell'Entech46.

Il diametro invece è risultato essere il dato più variabile tra tutti i concimi sopracitati: è questo un dato molto allarmante, vista la grande influenza che gioca la dimensione sulla distanza di distribuzione

I confronti fatti tra i dati ricavati dalle analisi e quelli disponibili nel mercato, forniti principalmente da aziende produttrici di macchine per la distribuzione quali Bogballe e Amazone, sono per i concimi: Nitrophoska, Yara Vera, Entech46, K 8-16-20, NPK 8-24-24, Perlka, Fostato bi ammonico NP46, Tropicote, Mila 15-15-15 e Kalisop Kali.

Nei parametri di densità, le variabilità più alte tra i dati misurati e quelli reperiti sono state riscontrate per il concime Kalisop Kali e NPK 8-24-24.

Per quanto riguarda il flusso gli scostamenti più importanti sono stati ricavati per Perlka ed NPK 8-24-24. Per la granulometria invece le variabilità più basse sul diametro medio sono state riscontrate per il Mila 15-15-15 mentre la più alta per il Tropicote.

Questa grande variabilità dipende probabilmente anche dal fatto che i dati forniti dalle aziende delle macchine produttrici non sono controllati, e quindi non è certa l'accuratezza delle prove eseguite.

Conoscere con precisioni questi dati è importantissimo: permette infatti di regolare la macchina per la distribuzione con il settaggio adatto, evitando distribuzioni di quantità maggiori, minori o di operare con larghezze di lavoro non idonee.

È dunque auspicabile che si vada via via affermando la necessità di compiere analisi sistematiche sui diversi concimi al fine di consentire concimazioni omogenee del terreno, garantendo una resa costante, mantenendo la fertilità del terreno e riducendo l'impatto ambientale.

# BIBLIOGRAFIA

## Documenti scientifici

Balsari P., Fertilizzazione mirata, soluzioni innovative per gli spandiconcime, Mondo Macchine (MMW) Federunacoma, 6, pp 18-22, 2008.

Balsari P., Tamagnone M., Dinuccio E., Valutazione della qualità di distribuzione di differenti miscele di fertilizzanti solidi, Rivista di Ingegneria Agraria, 1, pp 39-46, 2007.

Gualandi E., Spandiconcime centrifughi come distribuire meno e meglio, Terra e vita, 9, pp. 55-57, 2009.

Rousselet M., Eveillard P., Guide d'optimisation de l'épandage des engrais minéraux solides, Éditions BOOK EMISSAIRE, 2009

Sartori L., Fertilizzanti, come distribuirli in modo esatto e preciso, Macchine e motori agricoli, 2, pp. 35-38, 2009.

## Norme internazionali

UNI EN 12047-1999, Concimi solidi - Misurazione dell'angolo di riposo statico, versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12047 (settembre 1996), 1999.

ISO 3944:1992, Fertilizers -- Determination of bulk density (loose), 1992.

UNI EN 13299-2001, Concimi - Determinazione della scorrevolezza, versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 13299 (febbraio 2000), 2001.

UNI EN 1235:2004, Concimi solidi - Analisi granulometrica, versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1235 (giugno 1995) e dell'aggiornamento A1 (edizione aprile 2003), 2004.

UNI EN 1236:1997, Concimi. Determinazione della massa volumica apparente (senza compattazione), versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1236 (giugno 1995), 1997.

UNI EN 1237:1997, Concimi. Determinazione della massa volumica apparente (dopo compattazione), versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1237 (giugno 1995), 1997.

ISO 3310-1:2000, Test sieves -- Technical requirements and testing -- Part 1: Test sieves of metal wire cloth, 2000.

ISO 565:1990, Test sieves -- Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet -- Nominal sizes of openings, 1990.

## **Siti web**

Agricoltura 24 documentazione online disponibile sul sito [www.agricoltura24.com](http://www.agricoltura24.com)  
(consultato a ottobre 2013)

Bogballe documentazione online, consultabile sul sito [www.bogballe.com](http://www.bogballe.com)  
(consultato a novembre 2013)

*Agricoltura news materiale disponibile on line sul sito [www.agricolturanews.it](http://www.agricolturanews.it)  
(consultato a novembre 2013)*

Amazone international documentazione sul sito [www.amazone.it](http://www.amazone.it)  
(consultato novembre 2013)

# APPENDICE

Vengono qui nel seguito riportati i principali dati medi misurati nelle varie prove di laboratorio condotte sui diversi concimi.

Nome concime	marca	Formato	Angolo riposo [°]	Dev. st. [°]
NPK 5-10-25	Arpa spa	granuli (sferici)	54,7	0,47
Kalisop solfato di potassio 60	Kali	compattato	58,9	0,08
Cloruro di potassio 60	Arpa spa	compattato	59,6	0,18
Entech 25-15 (NP)	Eurochem Agro	granuli (sferici)	52,7	0,29
Yara Mila Universal	Yara International	granuli (sferici)	53,4	0,06
Yara Liva Tropicote	Yara International	granuli (sferici)	56,6	0,62
Fosfato Biammonico NP 18-46	Adria Est spa	granuli (sferici)	54,2	0,02
Urea46	Ameropa Italia srl	prilled	49,2	0,82
Leon	Yara International	granuli (sferici)	44,7	0,49
Multicote	Flora power	granuli (sferici)	51,5	0,40
Vigortop 60	SCAM spa	granuli (sferici)	54,7	0,89
Agrinutrient Fe	Agribios spa	compattato	54,3	0,22
Perlka	Alz chem	granuli (sferici)	52,7	0,04
NPK 8-24-24	Adriatica Spa	compattato	60,9	0,31
Nitrophoska special 12-12-17 (2-20)	Eurochem Agro	granuli (sferici)	55,5	0,17
Yara Vera urea 46	Yara International	granuli (sferici)	53,4	0,23
Entech 46	Eurochem Agro	granuli (sferici)	55,0	0,38
NPK 8-16-20 (2-5)	Adriatica Spa	compattato	60,7	0,18

Nome concime	Flusso			Densità			
	secondo norma	medio [g/s]	Dev. st. [g/s]	libera [kg/m³]	Dev. st. [kg/m³]	compattata [kg/m³]	media / compattata
NPK 5-10-25	4,93	98,7	0,5	1027,2	0,5	1081,2	1,05
Kalisop solfato di potassio 60	7,14	143,0	1,3	1309,6	2,5	1490,6	1,14
Cloruro di potassio 60	5,87	117,5	1,3	1072,7	4,2	1213,8	1,13
Entech 25-15 (NP)	5,59	112,0	0,6	1349,3	2,0	1408,0	1,04
Yara Mila Universal	5,72	114,5	0,4	1050,8	0,9	1119,3	1,07
Yara Liva Tropicote	6,92	138,6	1,4	1158,0	4,3	1283,2	1,11
Fosfato Biammonico NP 18-46	5,54	111,0	1,0	969,4	1,6	1080,8	1,11
Urea46	5,63	112,7	0,4	726,0	0,8	801,3	1,10
Leon	8,09	162,1	1,5	1076,0	2,5	1157,4	1,08
Multicote	5,88	117,8	1,6	1013,0	2,5	1267,9	1,25
Vigortop 60	6,44	129,1	1,3	937,9	2,9	1021,9	1,09
Agrinutrient Fe	7,93	159,0	1,0	1280,3	2,7	1393,2	1,09
Perlka	7,83	156,9	2,0	1045,7	2,9	1153,5	1,10
NPK 8-24-24	4,35	87,1	0,7	997,3	2,6	1114,0	1,12
Nitrophoska special	5,83	116,7	1,4	1069,8	4,4	1132,0	1,06
Yara Vera urea 46	4,30	86,1	0,9	787,9	2,6	845,8	1,07
Entech 46	4,62	92,6	0,6	780,4	4,5	841,3	1,08
NPK 8-16-20 (2-5)	4,86	97,4	1,1	1030,8	4,6	1141,3	1,11



Nome concime	GRANULOMETRIA						Diametro medio [mm]	D50 [mm]
	<1	1-2	2-3,55	3,55-4	4-4,75	>4,75		
NPK 5-10-25	0,0%	0,0%	29,6%	25,5%	32,1%	12,8%	3,88	3,91
Kalisop solfato di potassio 60	1,0%	5,5%	63,5%	17,4%	12,5%	1,0%	3,08	3,06
Cloruro di potassio 60	1,9%	5,6%	62,3%	16,2%	14,3%	1,6%	3,09	3,06
Entech 25-15 (NP)	0,0%	0,0%	33,3%	39,6%	25,9%	1,1%	3,62	3,74
Yara Mila Universal	0,0%	1,4%	61,2%	20,4%	15,1%	2,0%	3,25	3,23
Yara Liva Tropicote	4,2%	10,9%	82,7%	5,7%	0,7%	0,0%	2,61	2,65
Fosfato Biammonico NP 18-	0,0%	4,0%	75,9%	12,7%	7,1%	0,3%	2,97	2,94
Urea46	1,7%	48,8%	51,2%	0,0%	0,0%	0,0%	2,13	1,94
Leon	0,2%	13,3%	84,7%	1,7%	0,3%	0,0%	2,62	2,67
Multicote	0,0%	0,0%	76,7%	17,9%	5,4%	0,0%	3,04	3,01
Vigortop 60	11,3%	48,4%	44,5%	3,1%	3,8%	0,3%	2,08	1,87
Agrinutrient Fe	3,5%	12,3%	72,3%	7,7%	6,7%	1,1%	2,75	2,73
Perka	16,5%	62,2%	37,1%	0,6%	0,2%	0,0%	1,78	1,90
NPK 8-24-24	0,0%	0,6%	41,8%	18,4%	25,0%	14,3%	3,72	3,74
Nitrophoska special 12-12-17	0,6%	5,2%	39,4%	26,1%	27,1%	2,2%	3,44	3,56
Yara Vera urea 46	1,5%	1,5%	53,0%	24,1%	18,5%	3,0%	3,33	3,37
Entech 46	0,3%	1,1%	41,5%	22,3%	27,6%	7,5%	3,61	3,61
NPK 8-16-20 (2-5)	2,2%	1,2%	41,3%	20,2%	28,4%	8,9%	3,58	3,62

Nome concime	Carico rottura al diametro medio	
	[N]	[kg]
NPK 5-10-25	26,7	2,72
Kalisop solfato di potassio 60	74,9	7,63
Cloruro di potassio 60	41,3	4,21
Entech 25-15 (NP)	66,9	6,82
Yara Mila Universal	53,6	5,46
Yara Liva Tropicote	34,4	3,51
Fosfato Biammonico NP 18-	102,1	10,41
Urea46	non calcolabile	non calcolabile
Leon	28,1	2,86
Multicote	125,4	12,78
Vigortop 60	31,6	3,22
Agrinutrient Fe	42,3	4,31
Perka	35,3	3,60
NPK 8-24-24	55,2	5,62
Nitrophoska special 12-12-17	48,2	4,91
Yara Vera urea 46	36,0	3,67
Entech 46	38,9	3,97
NPK 8-16-20 (2-5)	38,0	3,87

# RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i miei genitori per avermi permesso di fare questa esperienza, mia mamma per la pazienza, i miei zii per aver creduto in me e tutta la mia famiglia per il sostegno.

Grazie a Matteo, Jessica e Nicola per le visite e il sostegno in laboratorio. Grazie a Marco, Francesca, Elena, Jessica , Cristina, Sebastiano e tutti gli altri per il sostegno e la pazienza.

Un sentito ringraziamento va anche a tutti quelli che mi sono stati vicini in questo percorso.

Con affetto *Giulia*