

COMMITTENTE



AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO
Porti di Palermo e Termini Imerese

LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DI SOPRAFLUTTO DEL PORTO DI TERMINI IMERESE

**PROGETTO DEFINITIVO
PROGETTO GENERALE**

TITOLO

**RELAZIONE TECNICHE
STUDIO SEDIMENTOLOGICO**

ELABORATO	SCALA	NS. RIF	RIF. ARC. - NA4
B_4	-	B_4.doc	AUTAPA11 - 43

DATA	REVISIONE	REDATTORE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
17 giugno 2013	emissione	AL	GI	EC



AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO
Porti di Palermo e Termini Imerese

PROGETTAZIONE IMPIANTI

Ing. Salvatore Acquista
Ing. Enrico Petralia

*Collaboratori per la progettazione
degli impianti*

Geom. Vincenzo D'Amico
Geom. Antonino Martorana

**IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO**
Ing. Sergio La Barbera

**COORDINATORE PER
LA SICUREZZA IN FASE
DI PROGETTAZIONE**

Ing. Paolo Tusa



IL PROGETTISTA
*Responsabile dell'integrazione
tra le prestazioni specialistiche*
Ing. Elio Ciralli

Coordinamento
Ing. Giancarlo Inserra

Collaboratori
Arch. Ivana Lorenzano
Ing. Alfredo Lucarelli

AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO

Porti di Palermo e Termini Imerese

**LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO
DI SOPRAFLUTTO DEL PORTO DI TERMINI IMERESE**

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO GENERALE

STUDIO SEDIMENTOLOGICO

GIUGNO 2013

VERSIONE:	DESCRIZIONE:	PREPARATO:	APPROVATO:	DATA:
00	EMISSIONE	AL	GI	17 GIU 2013
NOME FILE: B4.DOC			DISTRIBUZIONE: RISERVATA	

INDICE

1. GENERALITÀ	2
2. METODOLOGIA ADOTTATA.....	3
3. DESCRIZIONE DELL'UNITA' E DELLA SUB-UNITA' FISIOGRAFICA	4
4. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI	5
4.1 INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE PRESENTI NEL P.A.I.....	5
4.2 INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAGLI STUDI DEL 2007.....	6
4.2.1 <i>Prelevi lungo i profili di riva</i>	9
4.2.2 <i>Prelevi lungo i profili subacquei</i>	9
4.2.3 <i>Interpretazione dei risultati dei campionamenti del 2007</i>	10
4.3 INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAI CAMPIONAMENTI DEL 2012.....	10
4.3.1 <i>ULTERIORI CONSIDERAZIONI SUL VETTORE TRASPODEPOSIZIONALE</i>	18
5. MINERALOGIA	38
6. CONCLUSIONI	40

1. GENERALITÀ

L'Autorità Portuale di Palermo, a seguito di due distinte gare espletate, secondo i principi della procedura negoziata, ex art.125, comma 11, del D.Lgs 163/2006, e secondo il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, e in virtù dei finanziamenti regionali ex art. 111 della L.R.S. n. 11/2010, ha affidato:

- alla "Progetti e Opere S.R.L." il servizio di redazione del progetto definitivo dei "Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese";
- allo "Studio Mallandrino S.R.L." il servizio di redazione del progetto definitivo dei "Lavori di completamento del molo foraneo di sottoflutto del porto di Termini Imerese".

A supporto di tali progettazioni sono stati redatti una serie di studi specialistici, tra cui il presente "Studio Sedimentologico".

Il presente elaborato è stato redatto con lo scopo di:

- individuare le caratteristiche granulometriche dei sedimenti della costa più prossima al sito di intervento;
- di effettuare considerazioni sulla genesi e sui percorsi di trasporto del sedimento.

Tali considerazioni, insieme ad analisi ulteriori provenienti da altri studi specialistici, sono propedeutici per la determinazione della migliore configurazione portuale ai fini della mitigazione degli effetti sulla linea di costa e ai fini della protezione e salvaguardia del porto da fenomeni di siltaggio.

2. METODOLOGIA ADOTTATA

La sedimentologia è una scienza che sta sempre più rivelando la sua utilità nel campo dell'ingegneria costiera.

I sedimenti di superficie, infatti, forniscono informazioni riguardanti l'energia dell'ambiente, i processi a lungo termine e i movimenti di materiale, come i percorsi di trasporto del sedimento, le aree d'origine e quelle di destinazione.

Elemento fondamentale per il corretto svolgimento di uno studio sedimentologico è la caratterizzazione dei sedimenti del sito, che devono essere ben rappresentativi e identificanti della situazione in atto.

Ciò avviene tramite prelievo ed analisi, principalmente di tipo granulometrico ed eseguite con metodologie adeguate, di campioni di sedimento, in siti che devono essere ben scelti ed identificati.

I sedimenti di superficie sono raccolti sia in ambiente aereo che subacqueo, tipicamente, con campionatori a benna e quindi analizzati usando le procedure standard di laboratorio.

E' necessario, ovviamente, che ogni singolo campionamento sia georeferenziato con precisione, al fine di ottenere dati correlabili e utilizzabili per qualsiasi scopo si voglia.

Per l'elaborazione dei dati si possono adottare i parametri statistici proposti da Folk e Ward (1957) e si può fare ricorso ai diagrammi di Shepard (1954) e di Belvillie (1995), come verrà meglio espresso nel prosieguo del presente documento.

In questo studio, dapprima, è stata riportata una breve descrizione dell'unità fisiografica in esame e delle sub-unità in cui ricade il sito di interesse.

In seguito sono state ben delineate le caratteristiche dei sedimenti presenti nell'area tramite considerazioni sulle analisi granulometriche più recenti, sulla genesi e sui percorsi di trasporto dei sedimenti stessi, facendo anche riferimento alle informazioni bibliografiche disponibili.

3. DESCRIZIONE DELL'UNITÀ E DELLA SUB-UNITÀ FISIOGRAFICA

La descrizione dell'unità e della sub-unità fisiografica in cui ricade il sito di interesse ivi riportata non è altro che un sunto di quanto riportato nell'elaborato "Studio della dinamica della costa" a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

Il sito portuale di Termini Imerese si colloca all'interno dell'unità fisiografica tra Capo Zafferano a ovest e Capo Cefalù a est.

In particolare esso è situato tra le foci del F. S. Leonardo e del F. Imera Settentrionale.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono:

- il fiume Torto
- il torrente Barratina, avente foce in prossimità dell'attuale molo di sottoflutto.

Il tratto di costa compreso tra le foci del F. S. Leonardo e del F. Imera Settentrionale è stato inteso come sub unità fisiografica sui cui insiste il Porto di Termini Imerese.

Gli studi dell' ENEA del 2003 (cfr. "Elementi di Gestione Costiera", 2003), classificano il tratto di costa in esame principalmente come corrispondente ai morfotipi "Costa articolata" e "Costa di Litorale stretto".

Al morfotipo "Costa articolata" corrispondono i litorali a ovest del porto.

Al morfotipo "Costa di Litorale stretto" corrispondono i litorali a est del porto.

E' stato possibile identificare per la sub-unità fisiografica i seguenti tratti di costa:

- il litorale compreso tra la foce del F. San Leonardo e la radice del molo di sopraflutto;
- il tratto dove insistono le strutture del porto di Termini Imerese;
- il tratto di costa compreso tra il molo di sottoflutto del Porto e il pontile di scarico per navi petroliere lungo circa 700 ml all'interno del quale ricade la foce del Fiume Torto; tale tratto è caratterizzato dalla presenza di numerose opere di protezione delle strutture della zona industriale;
- il tratto di litorale dal pontile di scarico sino alla foce del F. Imera.

Per maggiori chiarimenti si rimanda a quanto riportato nell'elaborato "Studio della Dinamica della Costa".

4. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI

Per la caratterizzazione dei sedimenti presenti in prossimità delle opere, si è fatto riferimento:

- alle informazioni riportate nella relazione del P.A.I. per l'unità fisiografica di interesse;
- alla relazione sedimentologica del "Progetto di completamento dei piazzali movimentazione merci nel porto di Termini Imerese (I e II lotto) del 2007;
- ai dati forniti dal Dipartimento di Scienza della Terra e del Mare (DISTeM) a seguito delle attività di campionamento eseguite nel 2012 su incarico dell'Autorità committente, secondo il "Manuale per la Movimentazione dei sedimenti marini" redatto da APAT e ICRAM.

4.1 Informazioni sedimentologiche presenti nel P.A.I.

Per la tematica in esame, si è fatto riferimento alle informazioni presenti nel P.A.I. (piano di assetto idrogeologico) della Regione Sicilia ed in particolare nella relazione per l'unità fisiografica "Capo Zafferano – Capo Cefalù" allegata al suddetto piano.

In esso sono riportate informazioni sulla tipologia di sedimenti di spiaggia emersa lungo tutta l'unità fisiografica.

All'interno dell'unità fisiografica si è in presenza di un'ampia fascia costiera, formata per via dell'apporto solido di torrenti e fiumare, notevole per quantità e per dimensione dei clasti; tuttavia negli ultimi decenni l'ampiezza di tale fascia risulta assottigliata in molti tratti ove per cause antropiche o morfologiche l'erosione risulta maggiore.

Andando da ovest verso est sino al porto di Termini Imerese, il litorale è caratterizzato da sedimenti prevalentemente ghiaiosi e ciottolosi con elementi di grosse dimensioni.

Superato il porto le spiagge diventano di tipo sabbioso-ciottoloso; procedendo verso est le granulometrie si riducono e le spiagge presentano anche frazioni sabbiose grossolane.

Il diametro medio dei materiali di spiaggia è grossolano e mostra una tendenza a decrescere in maniera simmetrica procedendo verso est; si osserva anche che i valori massimi di diametro si riscontrano in corrispondenza delle foci dei corsi d'acqua.

La frazione ghiaiosa risulta essere prevalente o esclusivamente presente rispetto alla frazione sabbiosa; secondo il grado di classazione tali sedimenti risultano "poco" o "molto poco selezionati" e il loro grado di asimmetria, sempre positivo, li classifica come sedimenti di ambiente fluviale.

Gli alvei dei corsi d'acqua presentano il tipico aspetto delle fiumare: il tratto montano con elevata pendenza e stabilità delle sponde spesso precaria ed il tratto vallivo con letto ampio e sovralluvionato, morfologia a canali multipli e sedimenti grossolani di varia forma e grandezza e apparati fociali molto vistosi.

Tali corsi d'acqua rappresentavano un'importante fonte di apporto solido; attualmente, a causa di opere di sbarramento e di irrigidimento delle aste e delle foci fluviali (diga di Rosamarina sul fiume S. Leonardo, foci del fiume Torto e fiume Hymera arginate, sistemazioni idrauliche dei fiumi con cementificazione degli alvei, etc.), di prelievi di inerti lungo gli alvei e per la forte urbanizzazione dei bacini imbriferi, tale apporto di materiale è notevolmente diminuito, e molte spiagge risultano in arretramento.

4.2 Informazioni sedimentologiche derivanti dagli studi del 2007

Nel 2007 il Dott. Geologo G. Giambra ha redatto una relazione geologica a supporto del "Progetto di completamento dei piazzali movimentazione merci nel porto di Termini Imerese (I e II lotto)". In appendice ad essa è riportata una descrizione delle principali caratteristiche sedimentologiche dell'area indagata e delle principali attività svolte.

In particolare furono prelevati in totale 5 campioni sia lungo la riva che subacquei.

Ognuno di questi campioni è stato sottoposto ad analisi granulometrica secondo la normativa ASTM applicando la cosiddetta "phi scale" ($\Phi = -\log_2 D$), al fine di elaborare i dati secondo classi più omogenee e continue

Sono stati determinati per ogni campione gli indici di Falk e Ward (1957):

- o diametro medio e mediana, ai fini della classificazione della tendenza centrale
- o deviazione interquartile $QD\Phi$ per la misura della dispersione cernita σ per le indicazioni della classazione
- o asimmetria (o skewness $sk\Phi$) per lo scostamento fra mediana e media
- o coefficiente di appuntimento (o kurtosi $K\sigma$) per il confronto della cernita con gli estremi di distribuzione

Il *Mean Size* (diametro medio) rappresenta il valore medio della dimensione dei grani corrispondenti alla parte centrale della curva e viene calcolato mediante la formula:

$$M_{\phi} = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3}$$

La *Median* (mediana) rappresenta la dimensione dei grani corrispondente al valore di Φ_{50} .

La *Standard Deviation* (classamento o cernita) esprime l'ampiezza dello spettro dimensionale, ovvero caratterizza se il sedimento è costituito da poche o da molte classi granulometriche.

Questo indice esprime sia i processi selettivi operati dal mezzo di trasporto e di sedimentazione che il grado di mescolamento di sedimenti di diversa origine.

I valori di questo parametro si ricavano dalla seguente formula:

$$\sigma_{\phi} = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6}$$

I valori di classamento vengono riferiti alla classificazione condivisa seguente:

Standard Deviation	
Phi Range	Description
<0.35	Very well sorted
0.35-0.50	Well sorted
0.50-0.71	Moderately well sorted
0.71-1.00	Moderately sorted
1.00-2.00	Poorly sorted
2.00-4.00	Very poorly sorted
>4.00	Extremely poorly sorted

Tabella 4.1 – Classificazione dell'indice di classamento

L'indice di Skewness (asimmetria) indica le concentrazioni del sedimento verso classi granulometriche di dimensioni maggiori o minori (asimmetria negativa o positiva). Questo parametro viene calcolato con la seguente formula:

$$\alpha_{\phi} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

I valori di asimmetria vengono riferiti alla classificazione seguente:

Coefficient of Skewness	
<-0.3	Very coarse-skewed
- 0.3 to - 0.1	Coarse-skewed
- 0.1 to +0.1	Near-symmetrical
+0.1 to +0.3	Fine-skewed
>+0.3	Very fine-skewed

Tabella 4.2 – Classificazione del coefficiente di Skewness

L'indice di *Kurtosis* (appuntimento) indica la relazione tra il classamento della parte centrale e quello delle parti periferiche della curva di distribuzione granulometrica.

Tale indice viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\beta_{\phi} = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44 (\phi_{75} - \phi_{25})}$$

I valori di appuntimento vengono riferiti alla classificazione condivisa seguente:

Coefficient of Kurtosis	
<0.65	Very platykurtic (flat)
0.65-0.90	Platykurtic
0.90-1.11	Mesokurtic (normal peakedness)
1.11-1.50	Leptokurtic (peaked)
1.50-3.00	Very leptokurtic
>3.00	Extremely leptokurtic

Tabella 4.3 – Classificazione del coefficiente di Kurtosis

L'immagine successiva riporta lo stralcio della carta sedimentologica allegata allo studio citato con indicazione dell'ubicazione dei sondaggi.

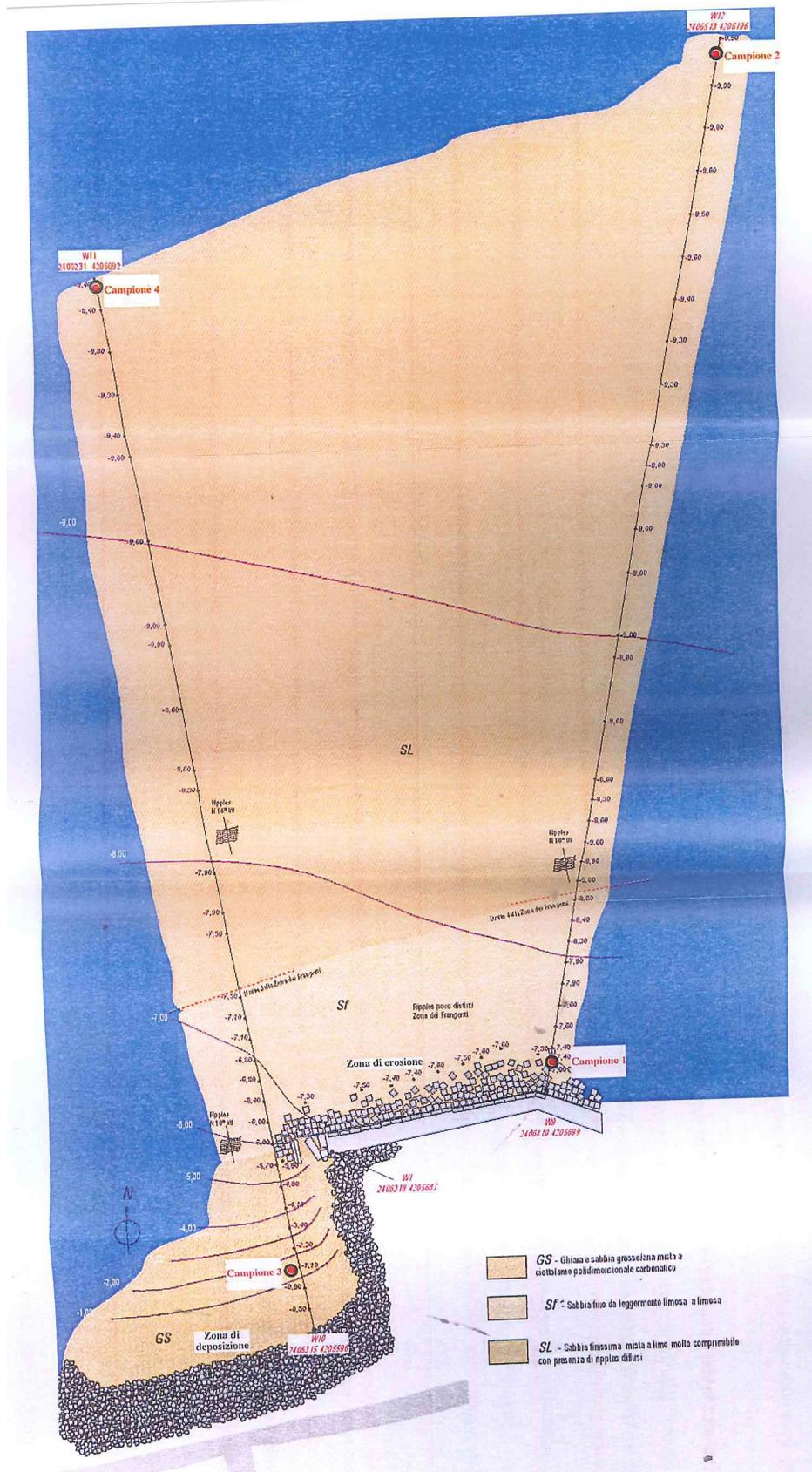


Figura 4.1 – Planimetria di riferimento per i campionamenti eseguiti nel 2007 presso la radice del molo di sopraflutto

4.2.1 Prelievi lungo i profili di riva

Per quanto riguarda i profili di riva, è stato prelevato un solo campione, denominato P2.

La sua composizione è eterogenea e va dalle sabbie fini alle ghiaie.

La frazione ghiaiosa risulta percentualmente maggiore.

L'elaborazione statistica della composizione del sedimento ha evidenziato una curva delle classi granulometriche estremamente dispersa a carattere bimodale.

Nell'ambito delle modalità dei valori negativi (e quindi granulometrie maggiori) è evidente una divisione in altre due classi molto grossolane con percentuale elevata (25%).

Nell'ambito dei valori negativi (e quindi granulometrie fini) presenta un range ampio nei limiti delle classi più fini.

Dalle analisi statistiche eseguite è emerso che la mediana è pari a 2,70 mm con valori di cernita σ molto elevati.

Il coefficiente di asimmetria $sk\Phi$ è elevatissimo e positivo; ciò indica la presenza nel sedimento di una coda di materiali fini, mentre il coefficiente di appuntimento $K\sigma$ è molto lontano dall'unità in accordo anche con la deviazione interquartile $QD\Phi$, evidenziando un assortimento granulometrico.

Il redattore dello studio, in base ai risultati statistici, ipotizza che la spiaggia da cui è stato estratto il campione sia di recente formazione, a seguito di un'attività marina attenuata, in cui sono presenti materiali aventi genesi fluviale, marina e antropica.

4.2.2 Prelievi lungo i profili subacquei

Il campione C3 prelevato ad una profondità di circa -1,1 m slm ha notevoli analogie con il campione del profilo di riva P2.

La curva granulometrica indica sedimenti prevalentemente ghiaiosi con una componente di materiale fine prossima a quella del campione P2, ma più distribuita.

La mediana per questo campione è pari a 2,90 mm con valori di cernita σ molto elevati che denotano un sedimento molto assortito.

Il coefficiente di $sk\Phi$ è notevolmente molto basso e positivo; ciò denota una presenza molto limitata nel sedimento di materiali fini.

Il coefficiente di appuntimento $K\sigma$ è molto basso e prossimo all'unità in accordo anche con la deviazione interquartile $QD\Phi$, evidenziando un assortimento granulometrico limitato che si allontana dai sedimenti fini.

Il redattore dello studio citato, in base ai risultati statistici, ipotizza che la spiaggia da cui è stato estratto il campione si configuri come costituita da sedimenti sia fluviali che marini.

Il campione C1 è prelevato ad una profondità di -7,30 m slm. I sedimenti sono classificabili come sabbia con esigua presenza di ghiaie. La curva granulometrica mette in evidenza un campione molto regolare e con dimensione granulometrica spostata sui sedimenti sabbiosi omogenei. La mediana è pari 0,26 mm. La cernita σ indica un sedimento ben classato.

L'asimmetria $sk\Phi$ è pari 0,009 ed è quindi minima, tale valore è caratteristico di un sedimento molto simmetrico e senza alcuna coda di materiali fini.

Il coefficiente di appuntimento $K\sigma=1,505$ in confronto con la deviazione interquartile $QD\Phi$, indica una tendenza all'omogeneizzazione del sedimento.

Il redattore dello studio, in base ai risultati statistici, ipotizza la presenza di un notevole trasporto di sedimenti con una notevole capacità di cernita dell'azione del mare; l'assenza di materiale fine indica una notevole azione del moto ondoso con una dinamica correntometrica di grado medio alto.

I campioni C2 e C4 sono stati prelevati rispettivamente a - 9,9 m slm e a - 9,4 m slm e sono costituiti da sabbie fini con una componente minimale di sabbia grossolana.

I valori della mediana sono molto bassi. I coefficienti di cernita σ indicano una classazione notevole.

L'asimmetria $sk\Phi$ presenta valori bassi ma opposti.

Il valore per il campione C2 è pari a -0,030 e ciò indica la presenza di una coda di materiali più grossolani.

Il valore per il campione C4 è pari a 0,037 e ciò indica la presenza di una coda di materiali più fini.

Il sedimento è più regolare come indicano i coefficienti di asimmetria e di appuntimento.

Ciò si spiega con la localizzazione dei punti geografici di prelievo.

Per il punto C2 è evidente un vettore di trasporto dei materiali verso il largo, assente per il punto C4.

4.2.3 Interpretazione dei risultati dei campionamenti del 2007

Secondo il redattore dello studio suddetto, l'analisi dei parametri statistici consente di suddividere l'area di campionamento in tre settori:

- il primo pertinente alla spiaggia,
- il secondo nella zona dei frangenti e antistante la spiaggia
- il terzo a circa 500 m dalla linea di riva.

Il primo settore, viene considerato ad alta immaturità sedimentologica con un basso grado di dissipazione di energia.

Il secondo settore presenta caratteristiche intermedie ma con un grado di dissipazione di energia elevato.

Il terzo settore denota un'indice di maturità sedimentologica abbastanza elevata.

Il secondo e il terzo settore appaiono caratterizzati da una correntometria diretta da O verso E che trasporta i sedimenti, anche grossolani, dalla foce del fiume San Leonardo.

Tali sedimenti si pervengono misti a materiali sia di origine marina che di origine antropica. Al largo l'azione sui sedimenti è esercitata dal moto ondoso, che trasporta i sedimenti più fini verso il largo.

4.3 Informazioni sedimentologiche derivanti dai campionamenti del 2012

L'Autorità Portuale di Palermo ha incaricato il DiSTeM (Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare) dell'Università degli Studi di Palermo per l'"Affidamento del servizio di caratterizzazione fisica, chimica ed ecotossicologica dei sedimenti marini dei fondali prelevati nell'ambito dei lavori di completamento dei moli di sopraflutto e sottoflutto del porto di Termini Imerese".

Le operazioni di campionamento sono state eseguite nel rispetto delle indicazioni fornite nel "Manuale per la Movimentazioni dei Sedimenti Marini" redatto dall'Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare (ICRAM) e dall'APAT (2007).

In particolare è stato redatto in apposito verbale per ogni stazione di prelievo, dove sono riportati i seguenti dati:

- nome della stazione;
- data e ora del campionamento;
- coordinate del punto;
- quota del fondale;
- lunghezza della carota prelevata;
- descrizione stratigrafica della carota;
- sezioni prelevate;
- strumentazione utilizzata;
- descrizione macroscopica delle sezioni;
- nome del componente dell'Ufficio di direzione lavori;
- nome dell'operatore della struttura preposta all'esecuzione delle analisi;
- numero e sigla dei campioni prelevati.

Inoltre, il DiSTeM ha proceduto a documentare le carote di prelievo e il sedimento mediante fotocamera.

I campioni prelevati sono stati in totale n. 55.

I campionamenti sono stati effettuati sotto la direzione del Committente (Autorità Portuale di Palermo) ed alla continua presenza di un tecnico DiSTeM. I campionamenti sono stati eseguiti nel mese di ottobre del 2012. I sedimenti superficiali (primi 50 cm della colonna) sono stati estratti da tre aree:

- o area destinata ad ospitare le nuove opere del molo di sottoflutto (sondaggi da 1 a 10, contrassegnati con la lettera A);
- o area destinata ad ospitare le nuove opere del molo di sopraflutto (sondaggi da SOPF1 a SOPF3, contrassegnati con la lettera A);
- o la spiaggia a ovest della radice del molo di sopraflutto, lungo la spiaggia emersa e la spiaggia sommersa (sondaggi SP1e SP2 e contrassegnati con le lettere E ed S).

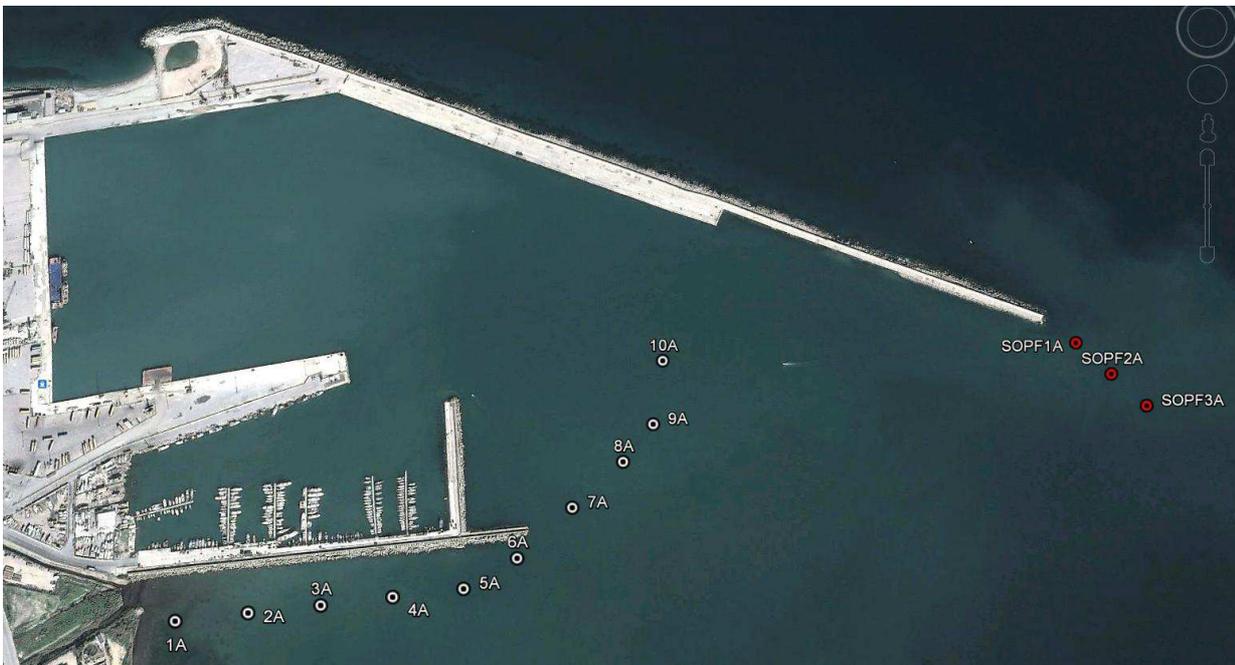


Figura 4.2 – Localizzazione dei campionamenti effettuati in corrispondenza delle nuove opere del molo di sottoflutto (in bianco) e del molo di sopraflutto (in rosso).



Figura 4.3 – Localizzazione dei campionamenti effettuati presso la spiaggia alla radice del molo di sopraflutto.

Come dichiarato dal DiSTeM, ogni fase del campionamento è stata sottoposta ad un controllo di qualità mirato a garantire:

- l'assenza di contaminazione derivante dall'ambiente circostante o dagli strumenti impiegati per il campionamento;
- l'assenza di perdite di sostanze inquinanti sulle pareti dei campionatori o dei contenitori;
- la protezione del campione da contaminazione derivante da cessione dei contenitori;
- un'adeguata temperatura di conservazione dei campioni (mantenuti in appositi frigoriferi a 4°C);
- l'assenza in qualunque fase di modificazioni chimico-fisiche delle sostanze;
- la pulizia degli strumenti e degli attrezzi usati per il campionamento, il prelievo, il trasporto e la conservazione.

Il campione prelevato è stato omogeneizzato sul campo e, in funzione degli specifici livelli richiesti, suddiviso in due aliquote principali delle quali una utilizzata per l'esecuzione di tutta la fase analitica (analisi fisiche, chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche) e l'altra conservata (-18°C/-25°C) per le eventuali controanalisi e verifiche.

La totalità dei campioni provenienti dal porto di Termini Imerese e dalla spiaggia (n. 55) è stata sottoposta alle analisi fisiche, chimiche e microbiologiche sotto riportate.

- Descrizione macroscopica: colore, odore, presenza di concrezioni o altri materiali grossolani,
- Granulometria,
- Sostanza organica totale,
- Azoto totale e Fosforo totale,
- Metalli pesanti
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
- Idrocarburi totali pesanti e leggeri,
- Policlorobifenili (PCB)
- Pesticidi organo-clorurati

- Esaclorobenzene,
- analisi microbiologiche

In questa sezione verranno descritte i risultati delle analisi granulometriche condotte.

Le frazioni granulometriche sono state valutate mediante setacciatura, secondo la scala di Wentworth e con frazioni granulometriche in % di peso secco (ghiaia, sabbia, pelite). I campioni sono stati classificati, inoltre, utilizzando il diagramma classificativo di Shepard. Tutti i campioni presentano una percentuale di ghiaia inferiore al 10 %, tranne quelli provenienti dalla spiaggia (11.30-59.60 %). Nella zona di sottoflutto del porto di Termini Imerese è prevalente la componente pelitica, la cui percentuale è, in media, pressochè simile alla componente sabbiosa (51.47±26.26 % e 47.93±26.54 % rispettivamente).

La frazione pelitica (<0.065 micron) è presente nei campioni della zona di sopraflutto (SOPF) con una percentuale >10 %, tranne il campione SOPF2E e i primi tre strati dell'area unitaria 3 (SOPF3A, SOPF3B e SOPF3C). La componente sabbiosa, in media, è predominante nella zona di sopraflutto (74.30±27.31 %) e nella spiaggia (69.49±23.44 %). Il tutto è sintetizzato nei diagrammi di Shepard (1954) di seguito riportati.

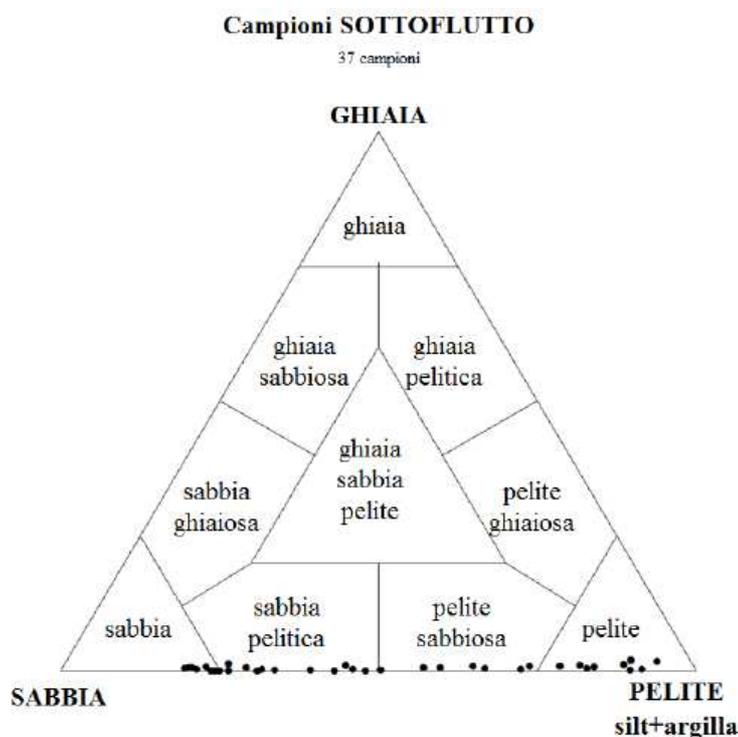


Figura 4.4 – Classificazione granulometrica di Shepard modificato dei campioni provenienti dalla zona di sottoflutto del porto di Termini Imerese

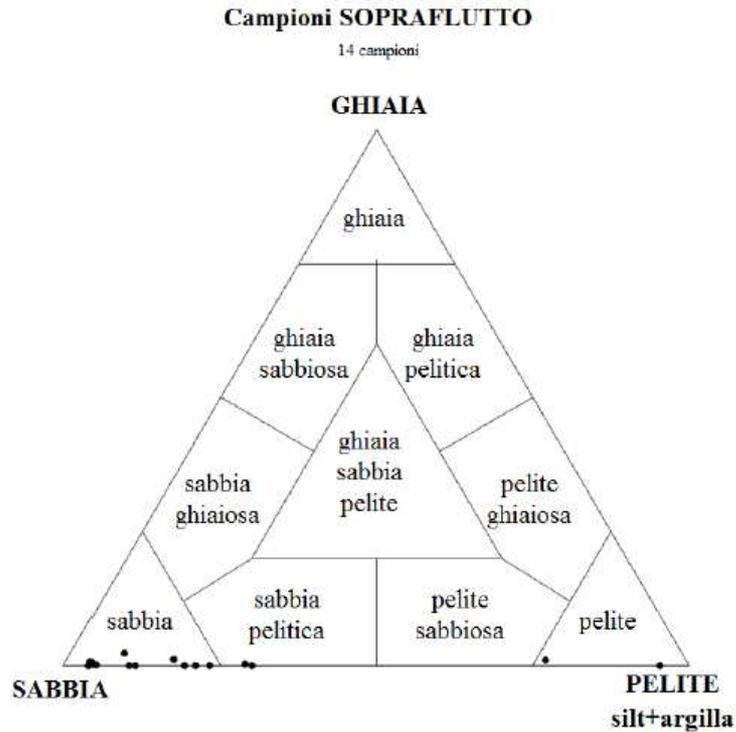


Figura 4.5 – Classificazione granulometrica di Shepard modificato dei campioni provenienti dalla zona di sopraflutto del porto di Termini Imerese

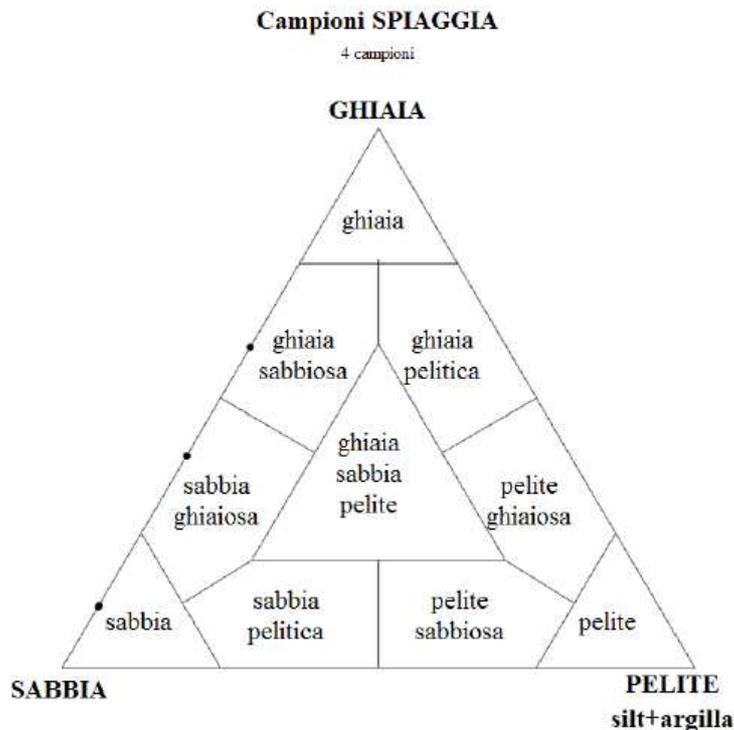


Figura 4.6 – Classificazione granulometrica di Shepard modificato dei campioni provenienti dalla spiaggia presso la radice del molo di sopraflutto del porto di Termini Imerese

Il soggetto incaricato delle analisi ha inoltre fornito alla scrivente anche i seguenti dati:

- quantità percentuale per fasce granulometriche omogenee:
 - ciottoli
 - ghiaie
 - sabbie
 - peliti
- valori dei percentili standard
 - 5%
 - 16%
 - 25%
 - 50%
 - 75%
 - 84%
 - 95%
- media
- cernita
- coefficiente di asimmetria
- coefficiente di appuntimento.

Di seguito si riportano per i campioni superficiali le tabelle relative alla composizione granulometrica dei sedimenti secondo Shepard e agli indici di Folk e Ward.

Campione	GHIAIA %	SABBIA %	PELITE %	Classificazione di Shepard
1A	0,15	49,59	50,26	pelite sabbiosa
2A	0,07	51,98	47,95	sabbia pelitica
3A	0,88	34,70	64,43	pelite sabbiosa
4A	0,29	27,48	72,23	pelite sabbiosa
5A	0,69	39,93	59,38	pelite sabbiosa
6A	1,79	5,26	92,95	pelite
7A	0,86	25,76	73,39	pelite sabbiosa
8A	1,91	9,37	88,72	pelite
9A	0,78	15,74	83,48	pelite
10A	0,31	8,38	91,31	pelite
SOPF1A	1,20	81,97	16,83	sabbia
SOPF2A	0,10	4,68	95,22	pelite
SOPF3A	0,00	95,97	4,03	sabbia
SP1E	11,30	88,70	0,00	sabbia
SP1S	39,42	60,58	0,00	sabbia ghiaiosa
SP2E	59,60	40,40	0,00	ghiaia sabbiosa
SP2S	11,71	88,29	0,00	sabbia

Tabella 4.4 – Classificazione dei sedimenti prelevati nel 2012 secondo Shepard.

CAMPIONE	LONG (WGS84 -UTM 33)	LAT (WGS84 -UTM 33)	z (m s.l.m.)	MEDIANA (ϕ)	Media (ϕ)	cernita (σ)	asimmetria (Sk)	appuntimento (K)
1A	386453	4204708	1,0	4,00	3,90	0,48	-0,36	0,92
2A	386552	4204717	1,8	3,97	3,89	0,46	-0,29	0,88
3A	386652	4204725	3,3	4,11	4,01	0,49	-0,49	1,37
4A	386752	4204734	4,2	4,15	4,07	0,41	-0,47	1,47
5A	386851	4204743	5,3	4,08	3,95	0,52	-0,50	1,21
6A	386926	4204784	8,5	4,23	4,23	0,24	-0,25	1,47
7A	387005	4204855	8,0	4,16	4,05	0,48	-0,55	1,95
8A	397080	4204921	10,0	4,22	4,22	0,29	-0,31	1,90
9A	387126	4204977	9,2	4,20	4,19	0,36	-0,37	2,23
10A	387144	4205076	9,5	4,23	4,23	0,30	-0,32	2,05
SOPF1A	387770	4205089	8,0	2,05	2,47	1,20	0,40	1,07
SOPF2A	387815	4205038	8,5	4,24	4,24	0,16	0,00	0,74
SOPF3A	387859	4204987	9,5	2,64	2,64	0,63	0,05	1,33
SP1E	386308	4205598	emersa	1,41	1,06	1,29	-0,48	1,31
SP1S	386306	4205606	sommersa	-0,54	-0,63	1,26	-0,05	0,83
SP2E	386211	4205571	emersa	-2,92	-3,71	4,91	-0,25	0,63
SP2S	386214	4205578	sommersa	1,09	0,86	1,15	-0,44	1,89

Tabella 4.5 – Indici statistici di Folk e Ward valutati per i campioni prelevati nel 2012 dall’Ente incaricato.

Per la redazione del presente studio la scrivente ha eseguito le seguenti considerazioni sugli indici di Folk e Ward.

Per i campioni prelevati presso le aree destinate ad ospitare il molo di sottoflutto:

- la mediana varia tra 3,97 e 4,23 e il valore medio varia tra 3,89 e 4,23 (campo delle peliti)
- la cernita varia tra 0,52 e 0,24 (da molto ben classato a ben classato)
- l’asimmetria varia tra – 0,25 e -0,55, il che indica una coda di materiali grossolani;
- la kurtosi varia tra 0,28 e 2,23.

Per i campioni prelevati presso le aree destinate ad ospitare il molo di sopraflutto:

- la mediana varia tra 4,24 e 2,05 e il valore medio varia tra 4,24 e 2,47 (campo delle sabbie limose)
- la cernita varia tra 0,15 e 1,20 (da molto ben classato a poco classato)
- l’asimmetria varia tra 0,05 e 0,40, il che indica una coda di materiali fini;
- la kurtosi varia tra 0,74 e 1,33.

Per i campioni prelevati presso le aree a ovest della radice del molo di sopraflutto:

- la mediana varia tra 1,41 e -2,92 e il valore medio varia tra 1,06 e -3,71 (campo sabbie-ghiaie);
- la cernita varia tra 4,91 e 1,15 (da poco classato a molto poco classato)
- l’asimmetria varia tra -0,05 e -0,48, il che indica una coda di materiali grossolani;
- la kurtosi varia tra 1,89 e 0,63.

Per i campioni prelevati presso le aree destinate ad ospitare il molo di sottoflutto dall’osservazione dei dati è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

Il livellamento del diametro medio su quelli caratteristici dei materiali molto fini, indica l’assenza di gradienti correntometrici elevati. Considerazioni simili valgono per la mediana.

I valori molto bassi di cernita, indicano che il regime correntometrico è rimasto costante e continuo nel tempo e ha permesso di raggiungere un elevato grado di assortimento del materiale.

I valori negativi di asimmetria indicano gradienti energetici tali da avere una coda rivolta ai materiali grossolani.

L'andamento dei valori della kurtosi indica un'aumento della tendenza all'aumento del numero delle classi granulometriche dalla riva verso il largo.

Per i campioni prelevati nel fondale dove insisterà il prolungamento del molo di sopraflutto, dall'osservazione dei dati è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

Il livellamento dei valori del diametro medio e della mediana su quelli caratteristici delle sabbie fini, indica la presenza di una certa intensità correntometrica differentemente a quanto riscontrato nella zona di sottoflutto.

I valori della cernita indicano che il regime correntometrico non è costante e continuo nel tempo, indicando una variazione di energia cinetica ed in definitiva la capacità selettiva dell'agente di trasporto.

I valori negativi dell'asimmetria indicano gradienti energetici tali da avere una coda di materiali con granulometria maggiore .

I valori di kurtosi indicano che la composizione granulometrica rimane pressochè costante nell'area interessata.

Per i campioni prelevati lungo la spiaggia a ovest della radice del molo di sopraflutto dall'osservazione dei dati è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

I valori del diametro medio e della mediana sono quelli caratteristici dei materiali grossolani, ciò indica che i gradienti correntometrici sono tali da trasportare via l'aliquota presente di particelle più fini.

I valori della cernita elevati, confermano che il regime correntometrico è tale che il livello di classamento è molto basso.

I valori negativi dell'asimmetria indicano gradienti energetici tali da avere una coda rivolta ai materiali grossolani.

L'andamento dei valori della kurtosi indica che la composizione granulometrica rimane pressochè costante nell'area interessata.

Ricapitolando, dalle indagini eseguite nel 2012 è emerso che:

- l'area destinata ad ospitare le nuove opere di sottoflutto, è caratterizzata da sedimenti pelitici, in quanto il regime correntometrico è modesto e ha permesso il raggiungimento di livelli elevati di assortimento, con aumento della granulometria dalla riva verso il largo;
- l'area destinata ad ospitare le nuove opere di sopraflutto, è caratterizzata da sabbie pelitiche; ciò indica che lungo il molo di sopraflutto sono presenti idrodinamismi più elevati rispetto a quelli che caratterizzano l'area sottoflutto;
- la spiaggia a ovest della radice del molo di sopraflutto è caratterizzata da sabbie ghiaiose, in quanto il materiale più fine viene trasportato via dalla corrente.

4.3.1 ULTERIORI CONSIDERAZIONI SUL VETTORE TRASPODEPOSIZIONALE

In base ai dati forniti dal DiSTeM, è stato possibile estrapolare alcune considerazioni sugli agenti traspo-deposizionali.

Una serie di studi condotti da Tanner (1986, 1991) sulla scorta di oltre 11.000 campioni analizzati hanno consentito di elaborare un criterio sintetico per la determinazione approssimata degli agenti traspo-deposizionali che interessano i sedimenti costieri (energia ondosa, fluviale, eolica, etc.).

Sulla scorta di tale criterio Balsillie nel 1995 ha implementato il seguente diagramma su carta probabilistica aritmetica.

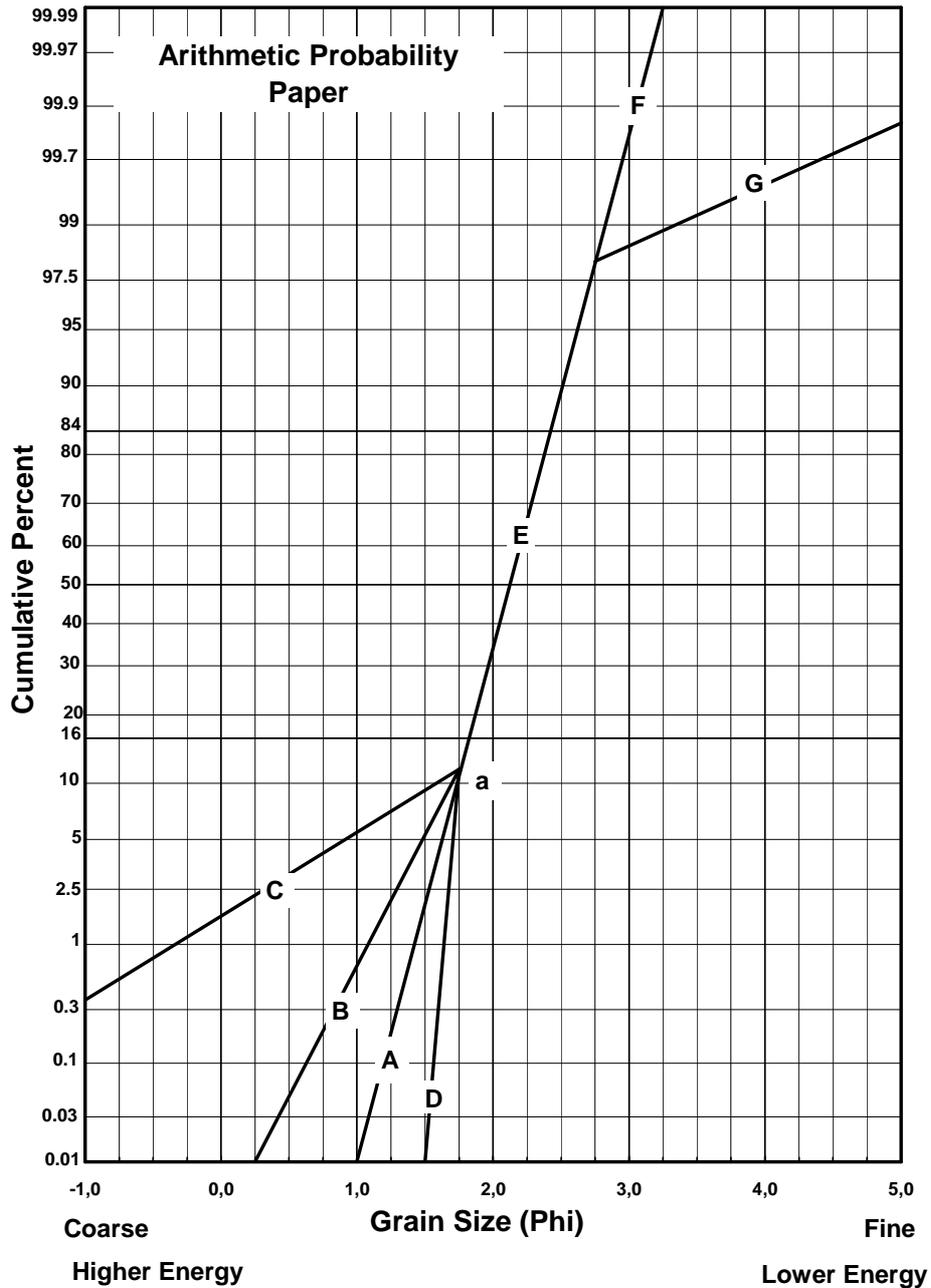


Grafico 4.1 –Esempio del diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica con le linee identificatrici dei vari agenti.

SEGMENTO	DESCRIZIONE DELL'INTERPRETAZIONE GRANULOMETRICA
AEF	La distribuzione gaussiana. Sulla carta probabilistica è una linea retta.
B	Indica che l'agente traspo-deposizionale è l'attività del moto ondoso. Il punto a di incrocio con il segmento E identifica la zona dei frangenti. La pendenza relativamente gentile, rappresenta la spiaggia sabbiosa; maggiore è la pendenza del segmento B, maggiore è l'energia del moto ondoso. Si noti che per materiale sabbioso, la zona frangente normalmente si ha per condizioni energetiche del moto ondoso da limitate a moderate. Per condizioni energetiche maggiori, il punto si sposta fuori dal grafico verso il basso ed il segmento B scompare (ovvero le condizioni energetiche del moto ondoso sono maggiori persino per la sabbia più grossolana esistente in situ (Savage, 1958; Balsillie, 1999)
D	Indica processi eolici. Il punto a identifica la "gobba eolica".
C	Rappresenta la presenza di energia fluviale. Ha una pendenza accentuata e maggiore è la pendenza maggiore sono i livelli energetici in gioco. Il segmento indica, sedimentologicamente, la "coda grossolana del fiume". Tuttavia esso può rappresentare fenomeni traspo-deposizionali dovuti alle maree.
E	Segmento centrale della distribuzione del campione.
G	Indica la coda di bassa energia, ovvero il segmento di sedimentazione e, se presente può indicare l'abbassamento di energia per sedimenti più grossolani. Manifesta la presenza di sedimentazioni.

Tabella 4.6 – Descrizione granulometrica del diagramma di Balsillie

Si è quindi provveduto a realizzare i diagrammi di Balsillie su carta probabilistica aritmetica, per i campionamenti superficiali eseguiti dal DiSTeM nelle seguenti aree:

- area destinata ad ospitare le nuove opere del molo di sopraflutto (sondaggi da SOPF1 a SOPF3, contrassegnati con la lettera A);
- area destinata ad ospitare le nuove opere del molo di sottoflutto (sondaggi da 1 a 10, contrassegnati con la lettera A);
- la spiaggia a ovest della radice del molo di sopraflutto, lungo la spiaggia emersa e la spiaggia sommersa (sondaggi SP1 e SP2 e contrassegnati con le lettere E ed S).

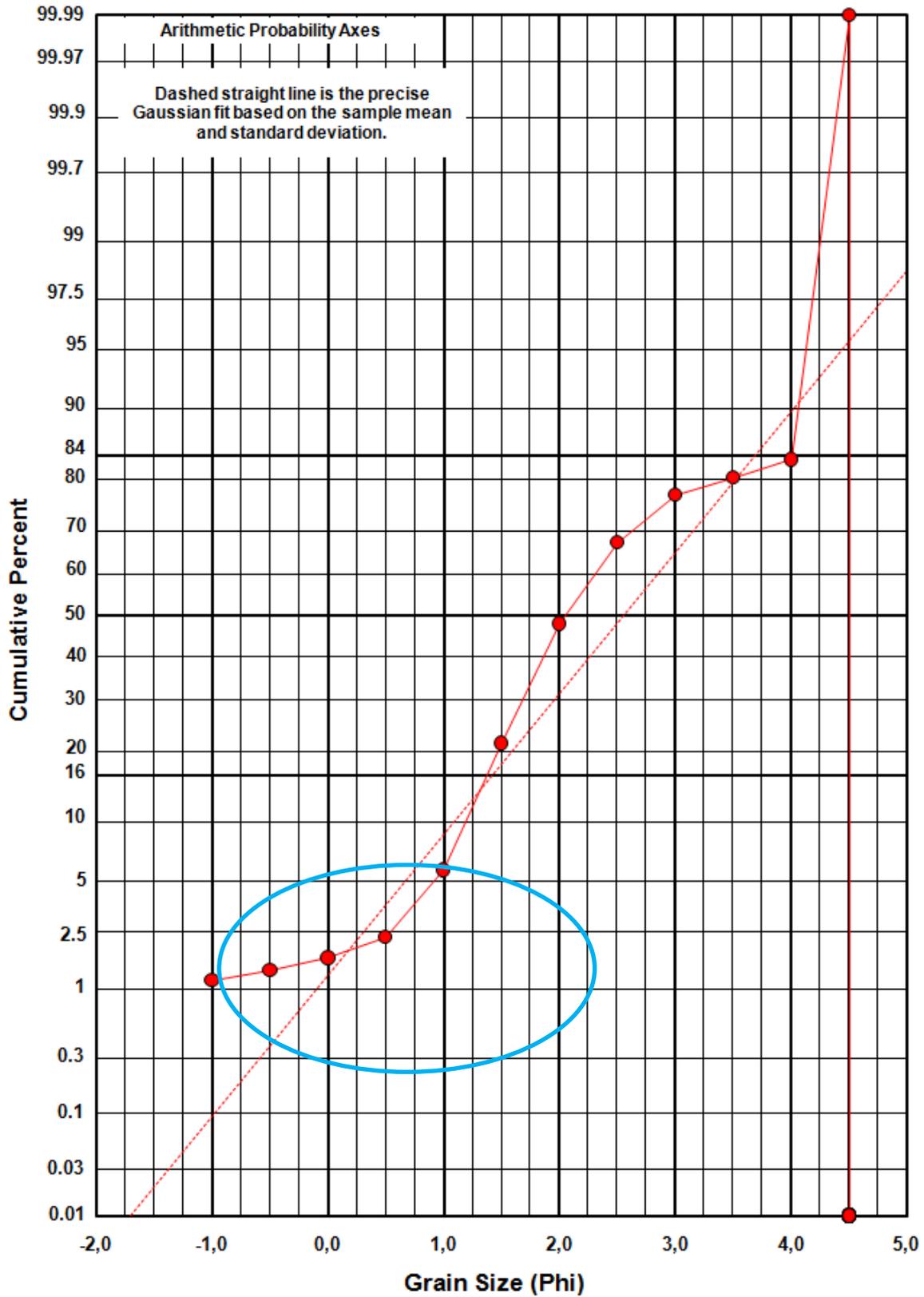


Grafico 4.2 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SOPF1A.

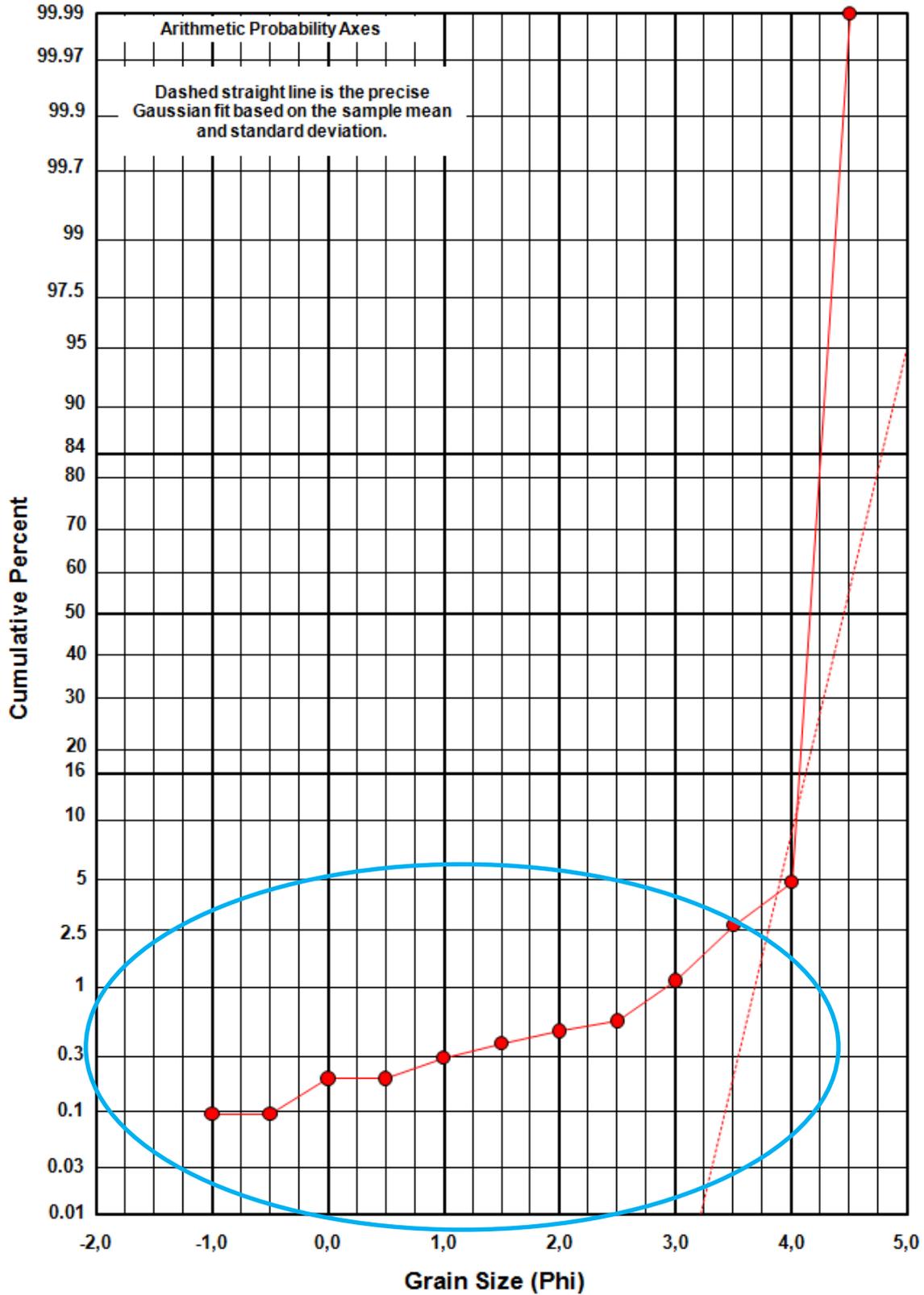


Grafico 4.3 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SOPF2A.

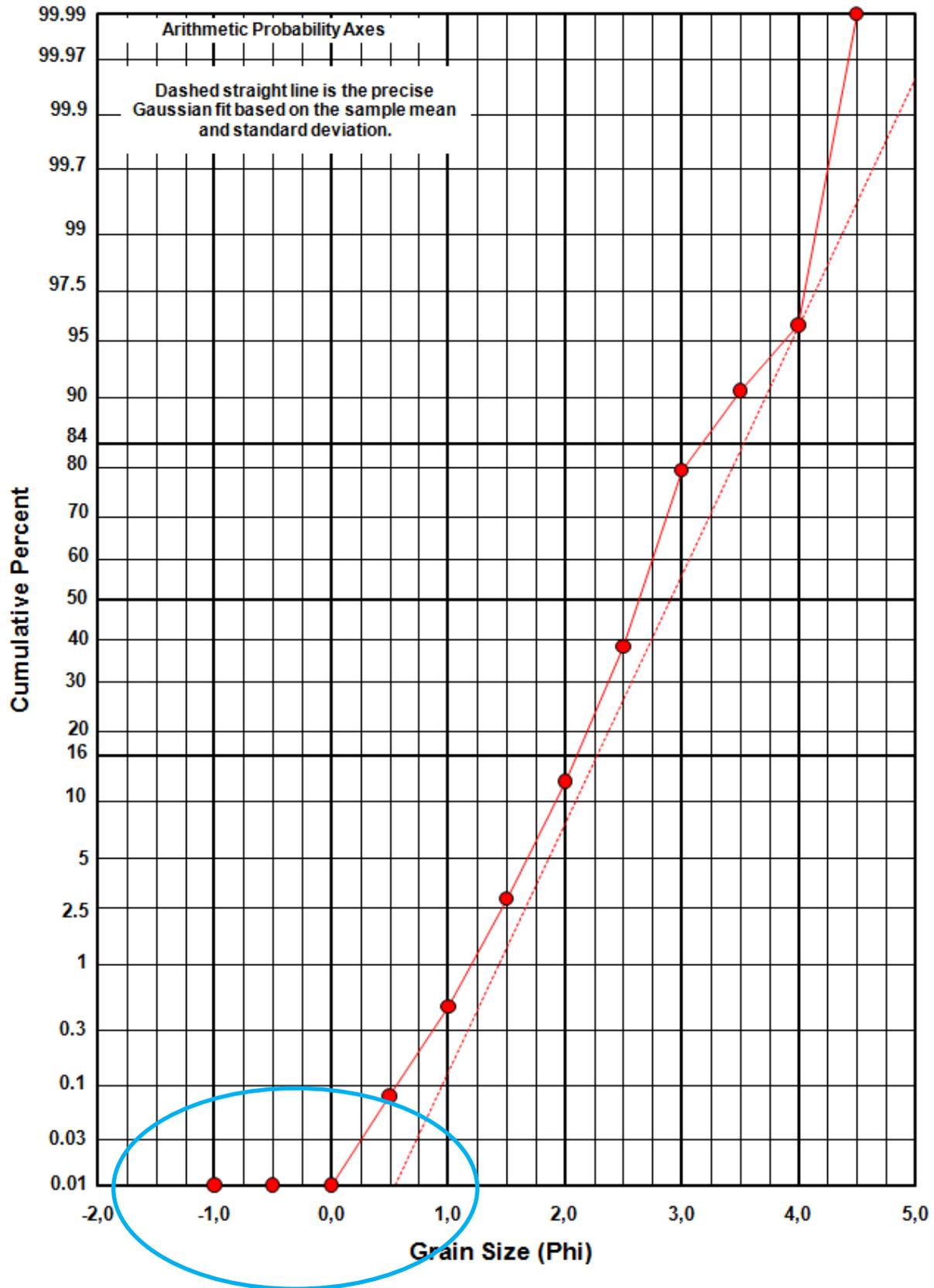


Grafico 4.4 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SOPF3A.

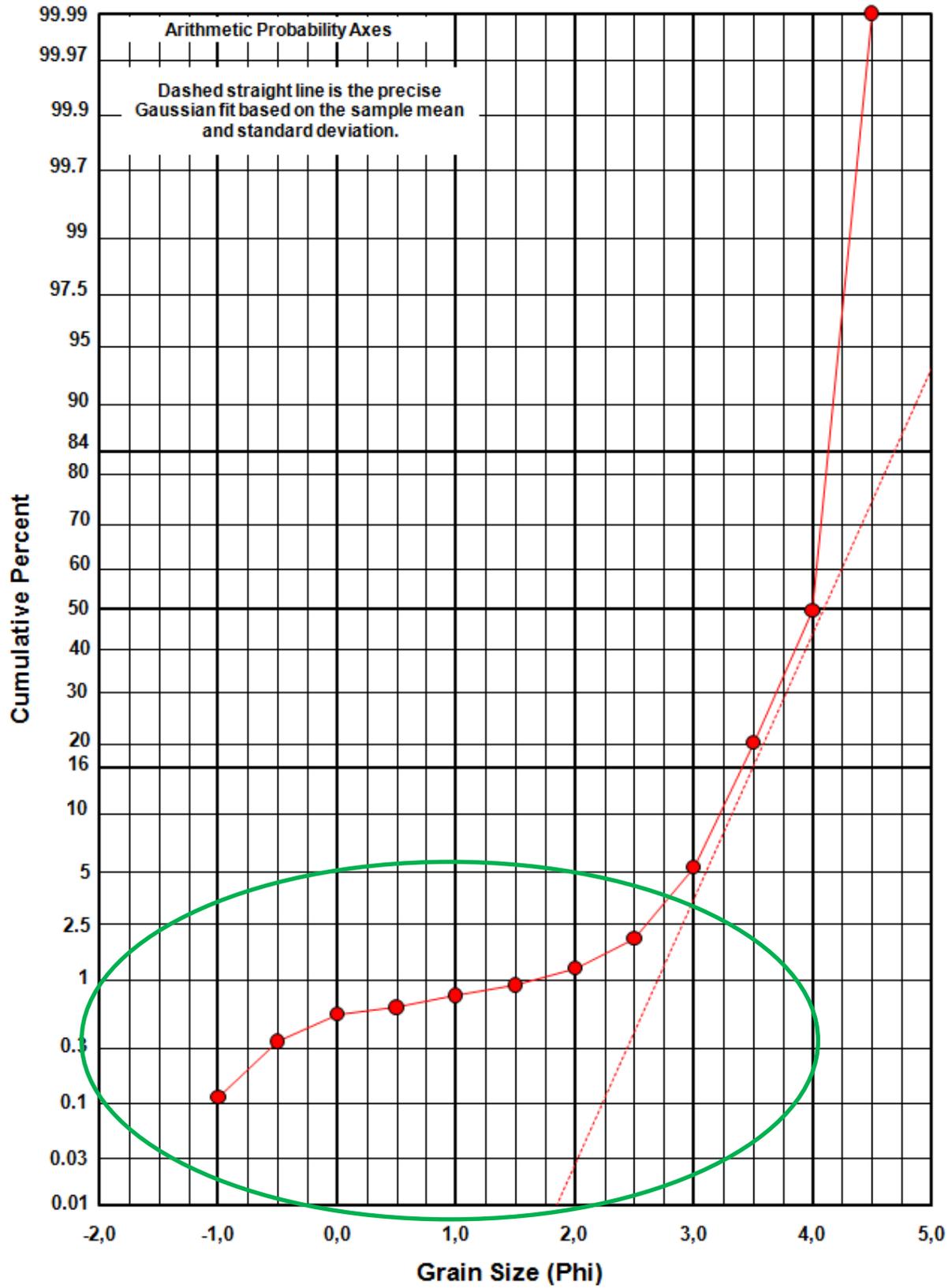


Grafico 4.5 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 1A

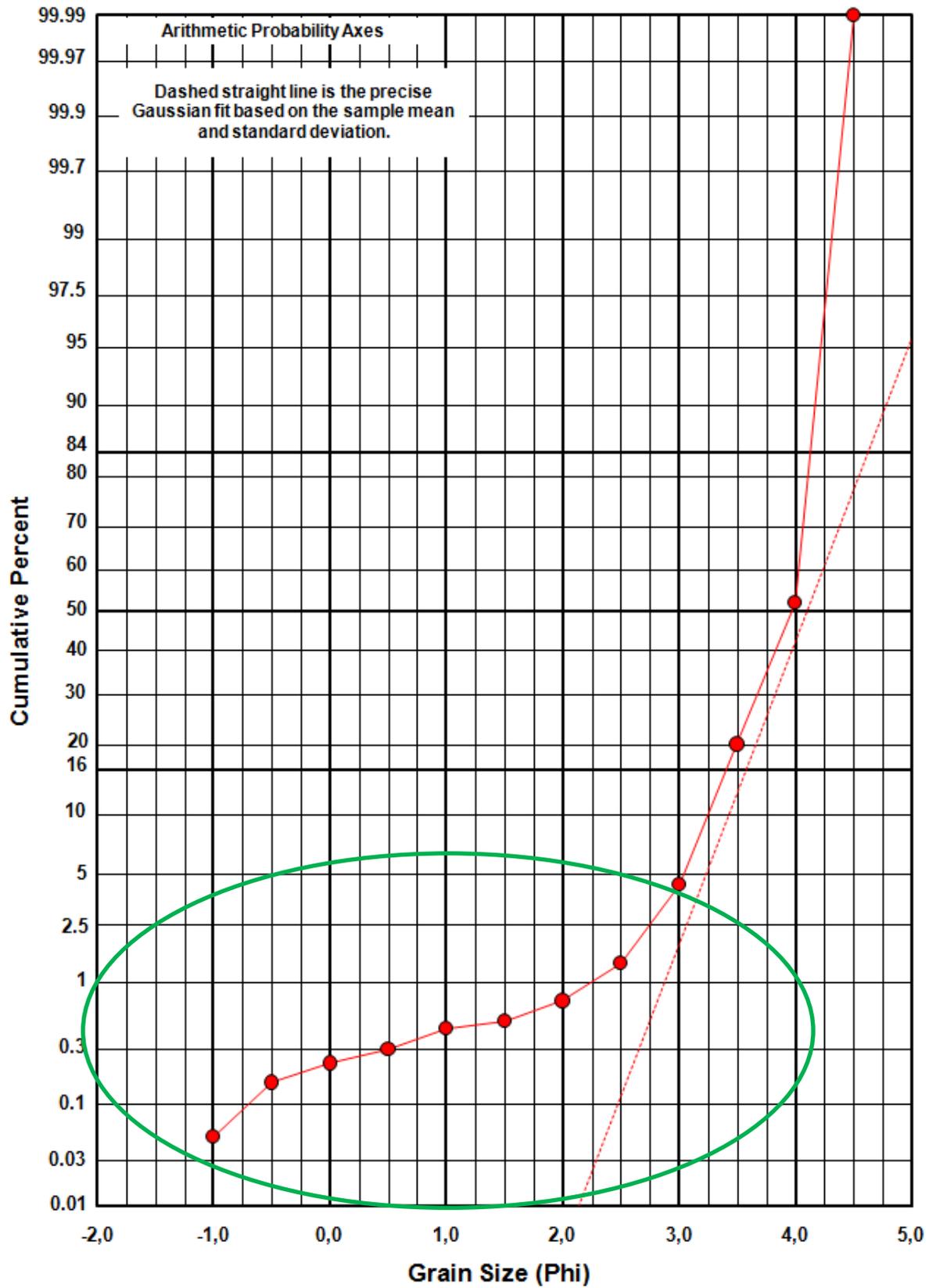


Grafico 4.6 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 2A

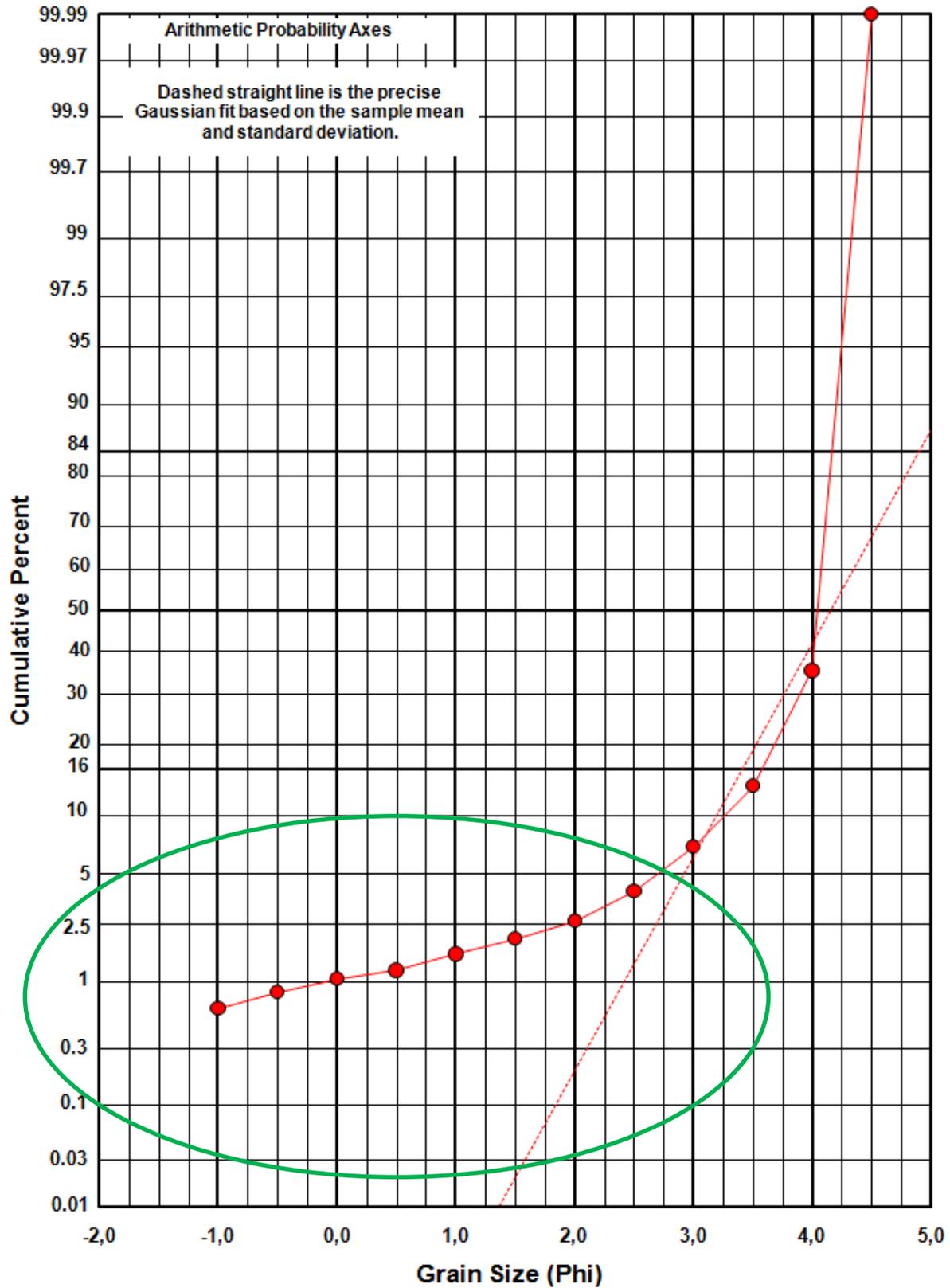


Grafico 4.7 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 3A

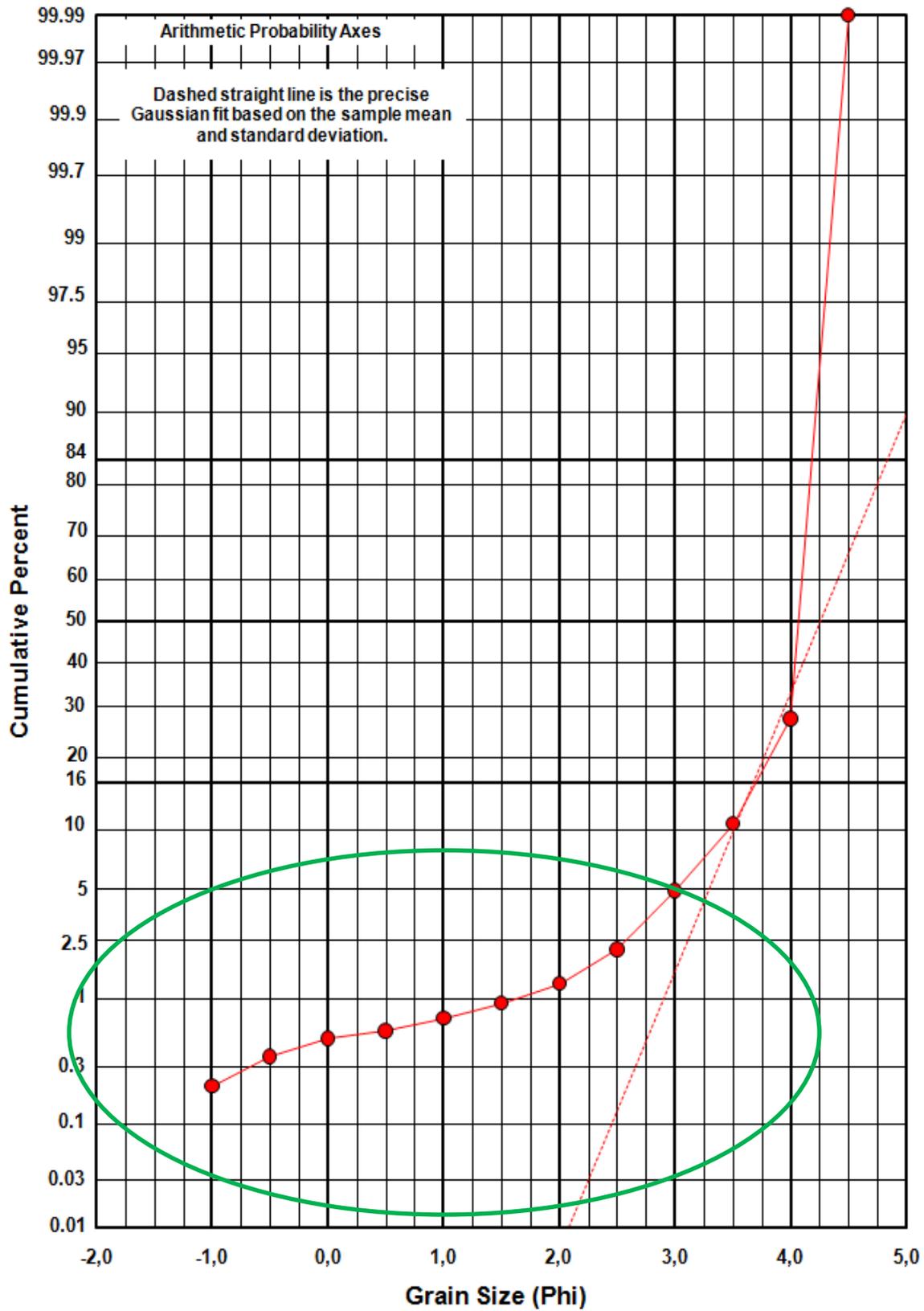


Grafico 4.8 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 4A

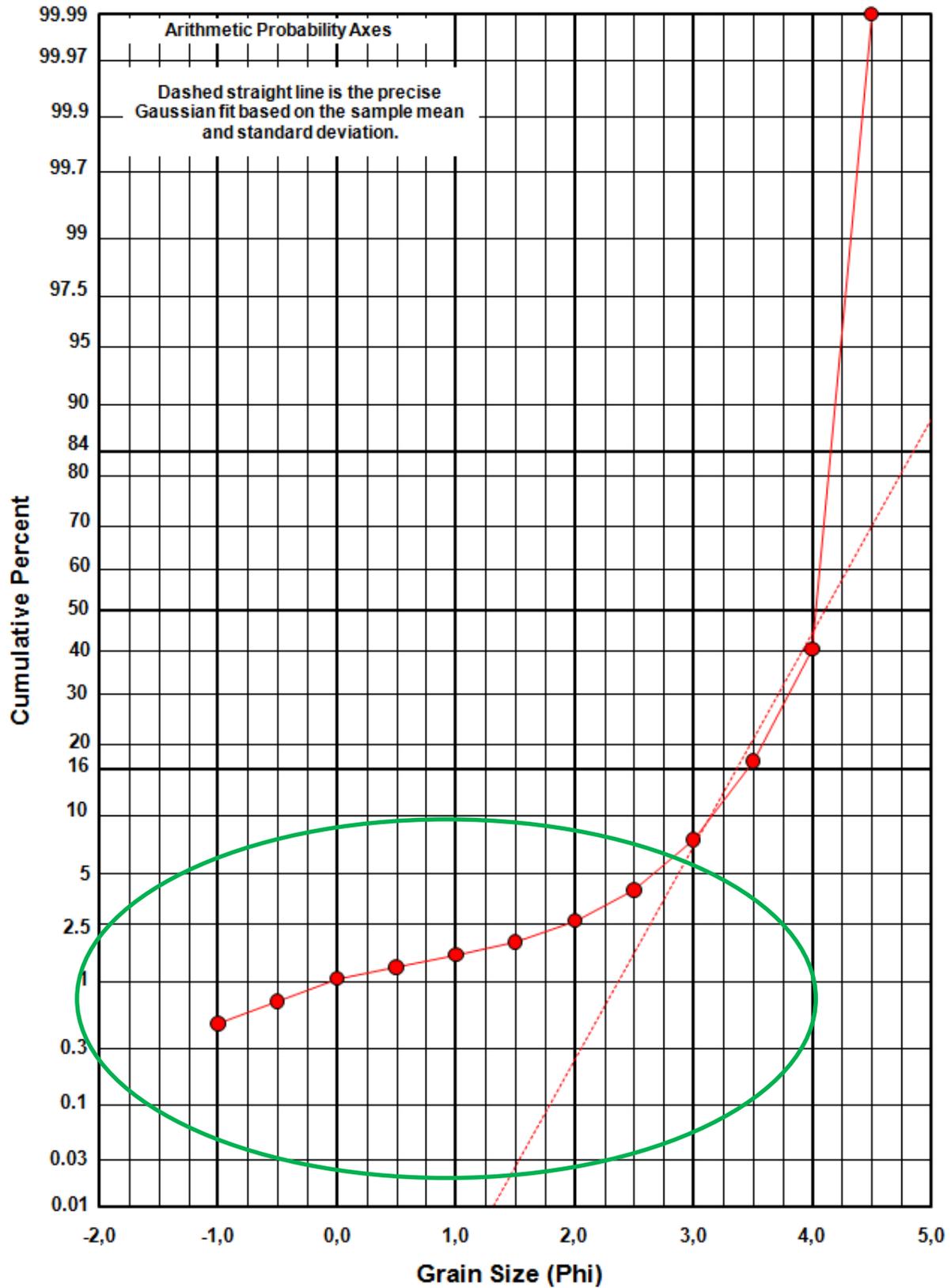


Grafico 4.9 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 5A

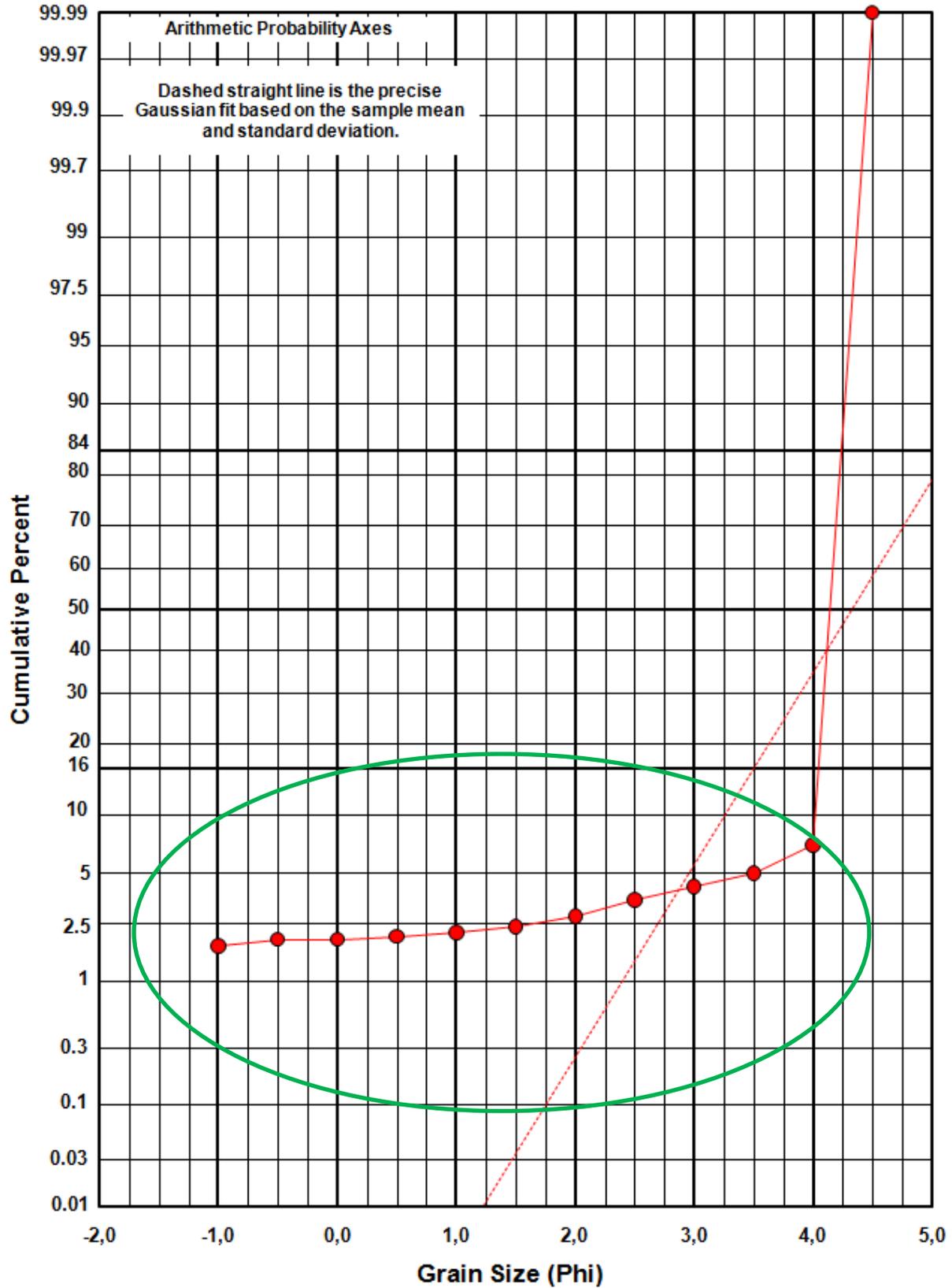


Grafico 4.10 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 6A

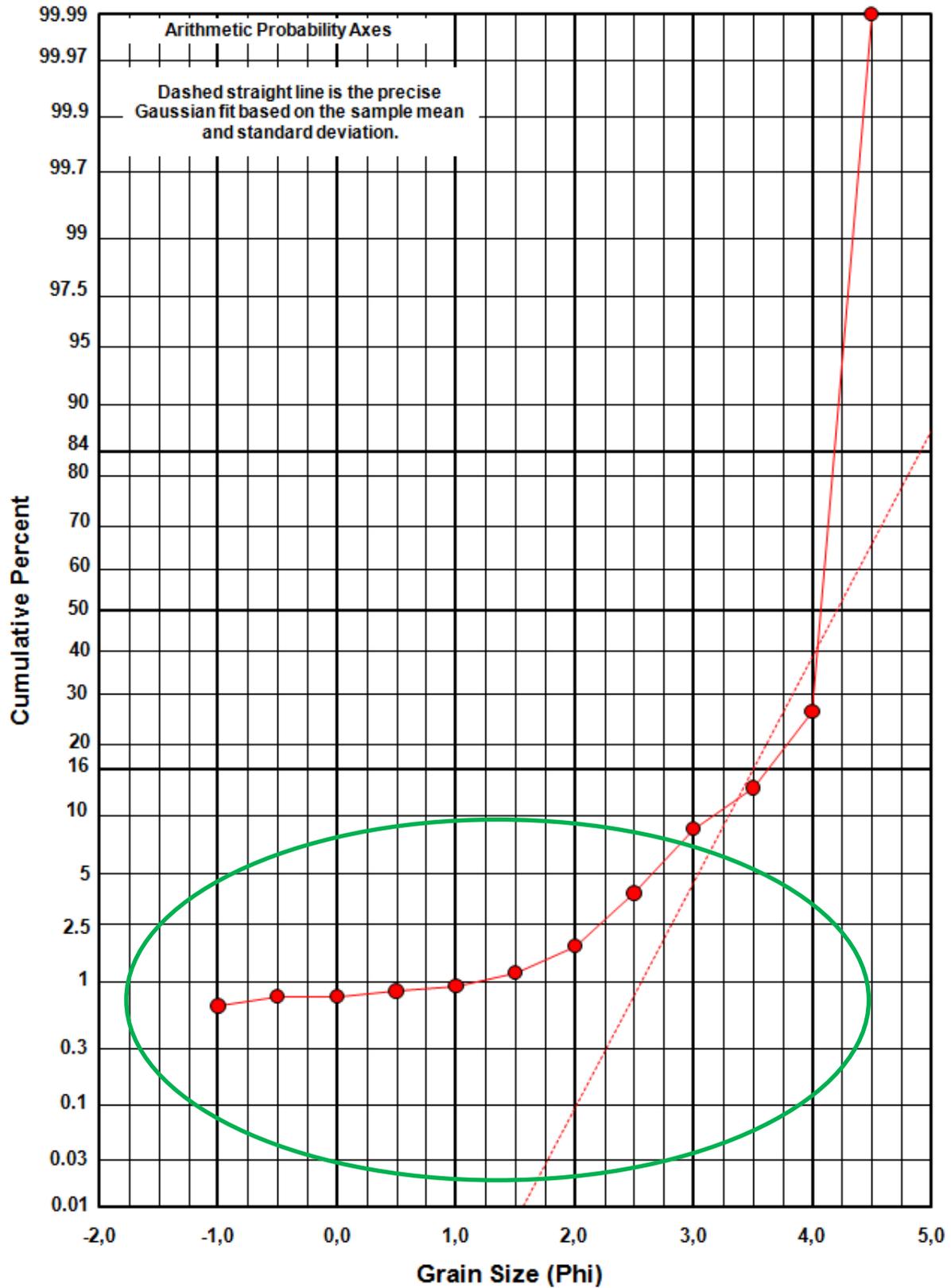


Grafico 4.11 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 7A

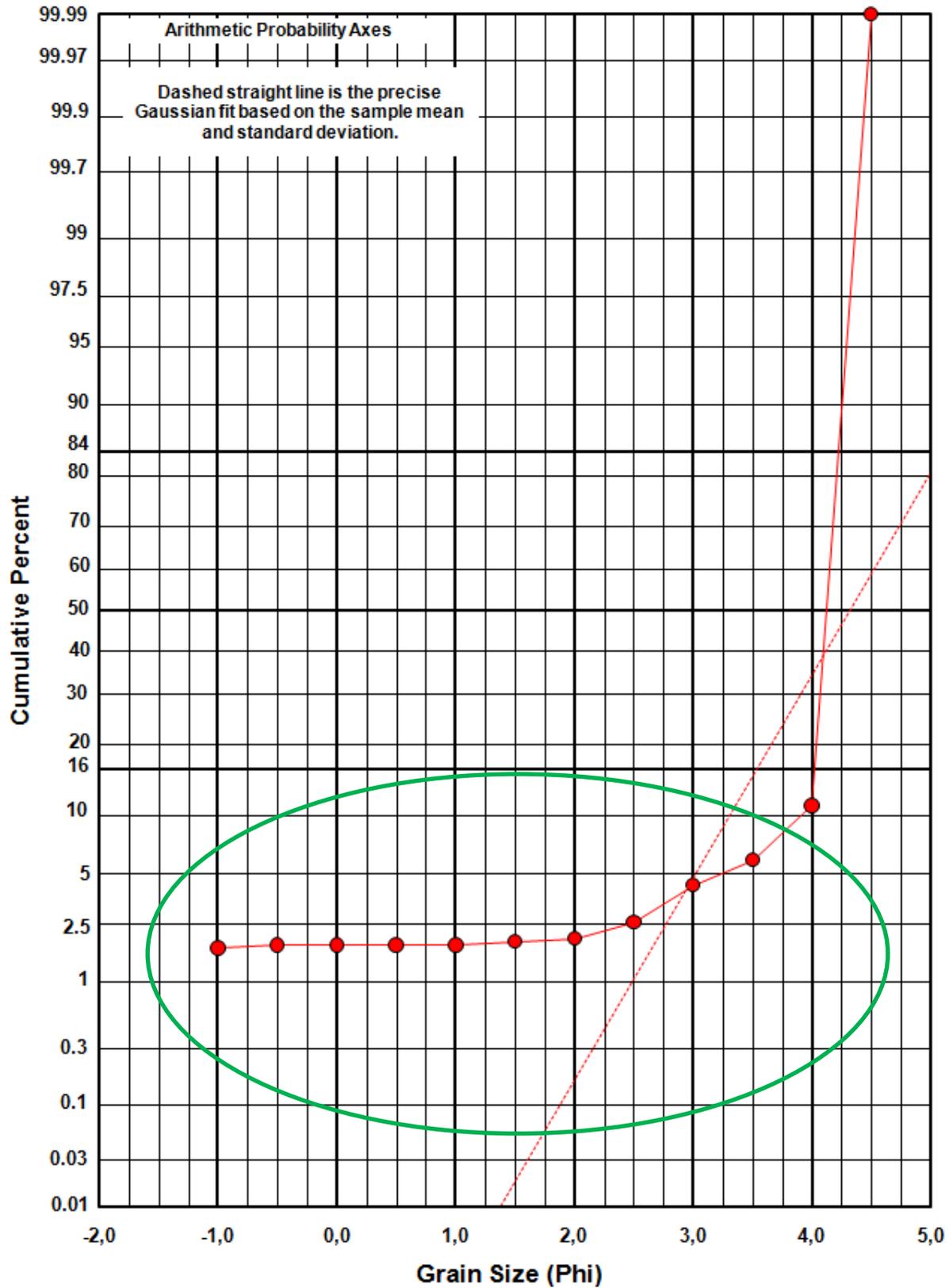


Grafico 4.12 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 8A

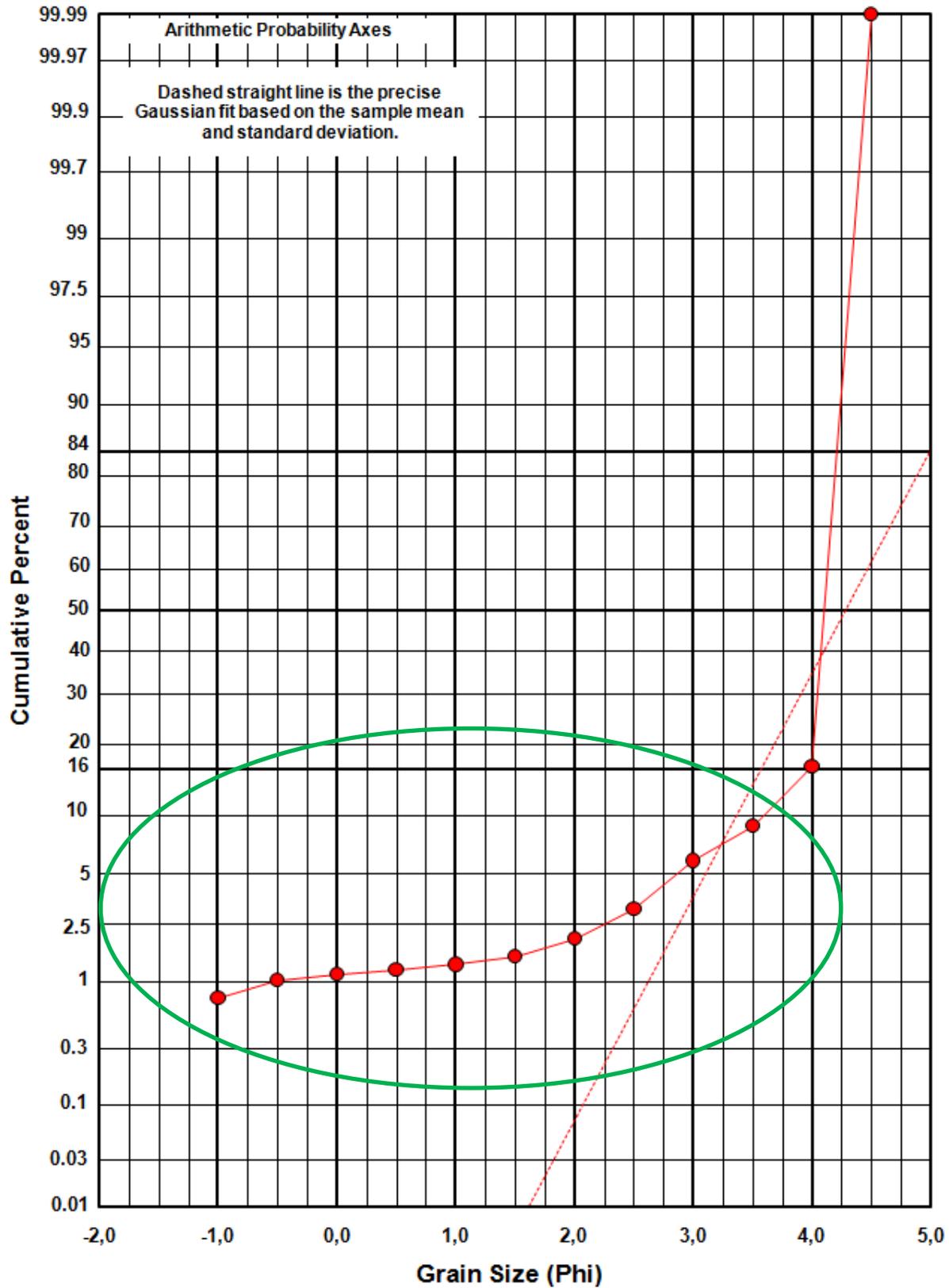


Grafico 4.13 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 9A

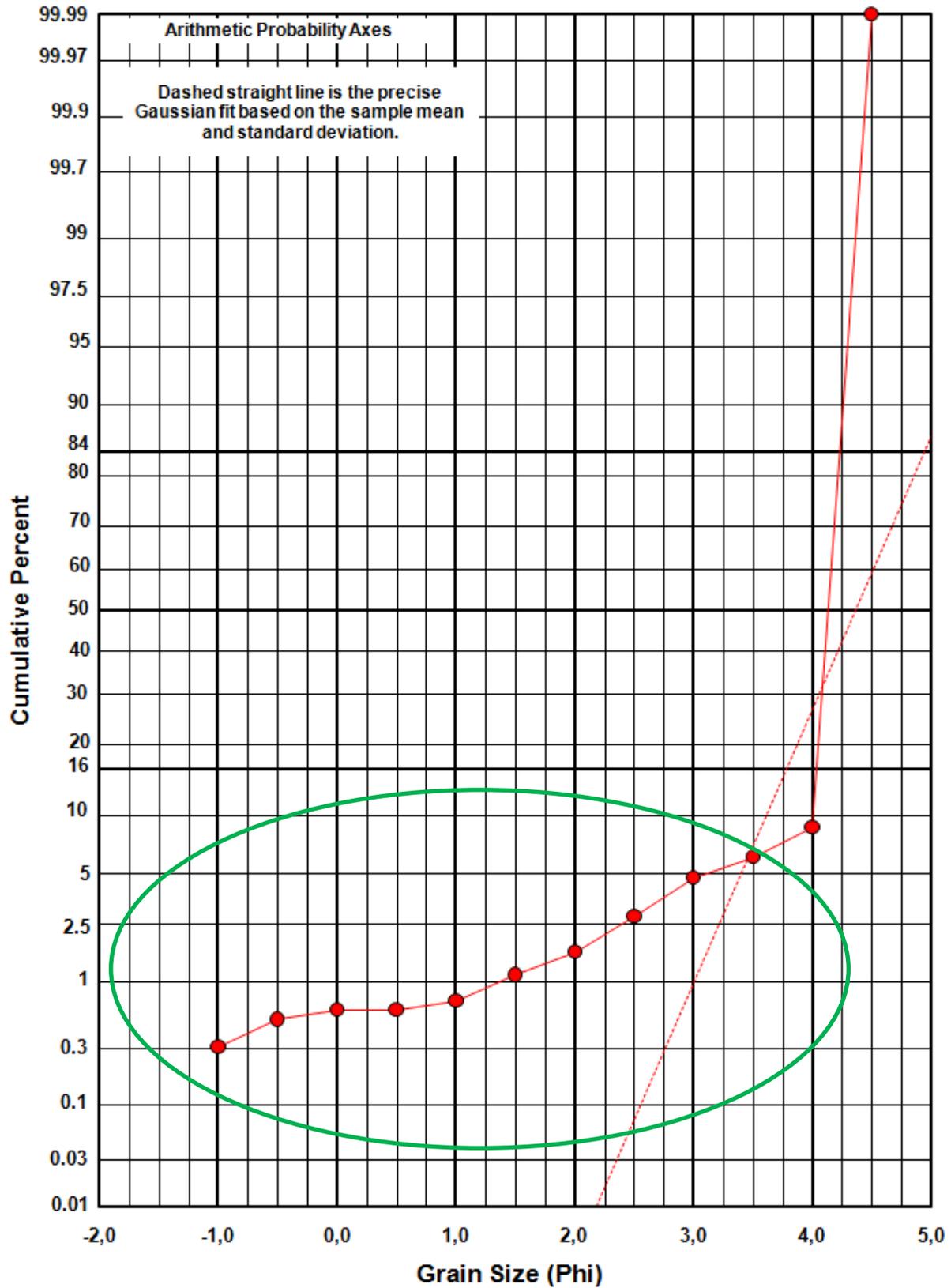


Grafico 4.14 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento 10 A

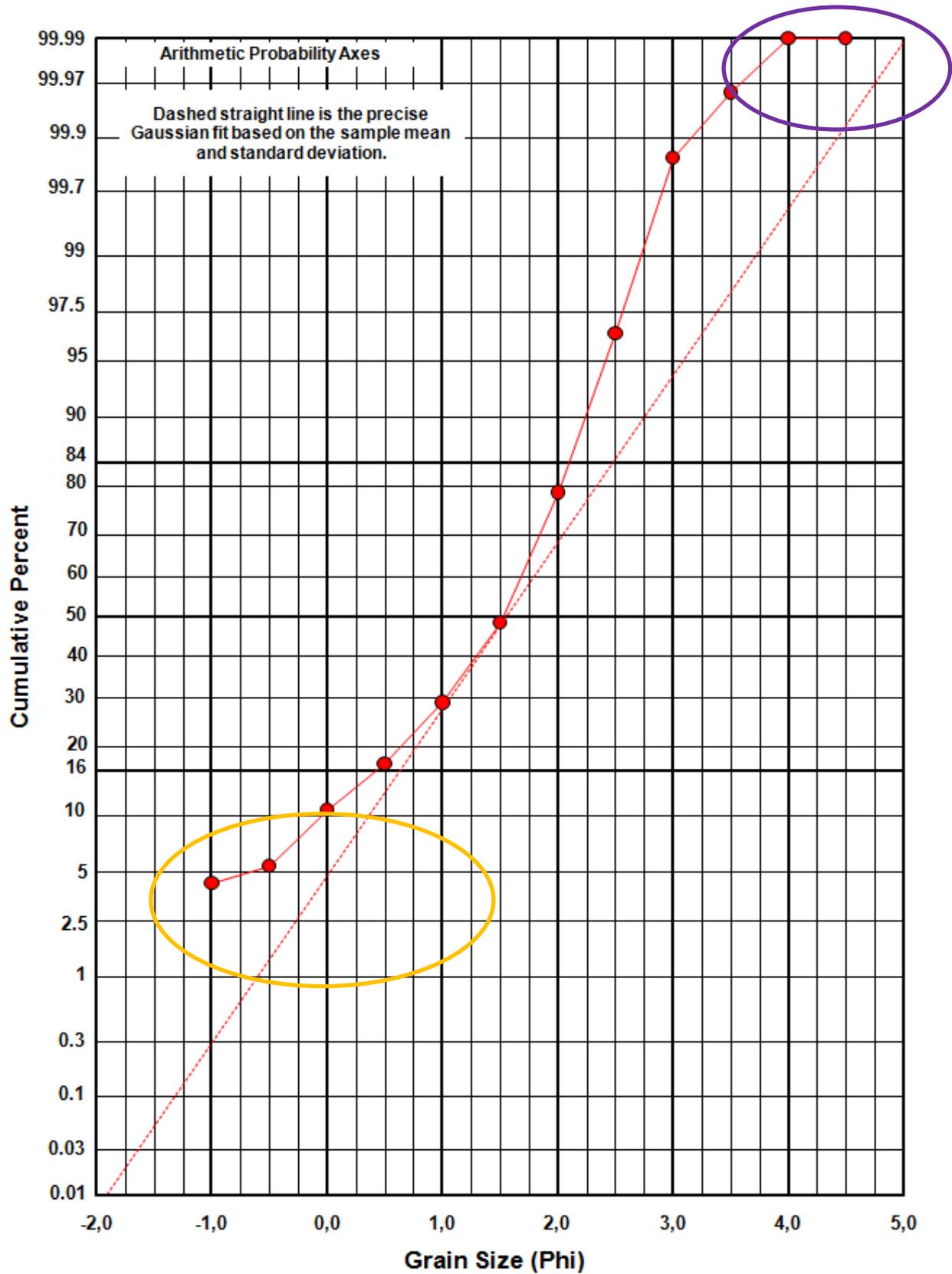


Grafico 4.15 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SP1E

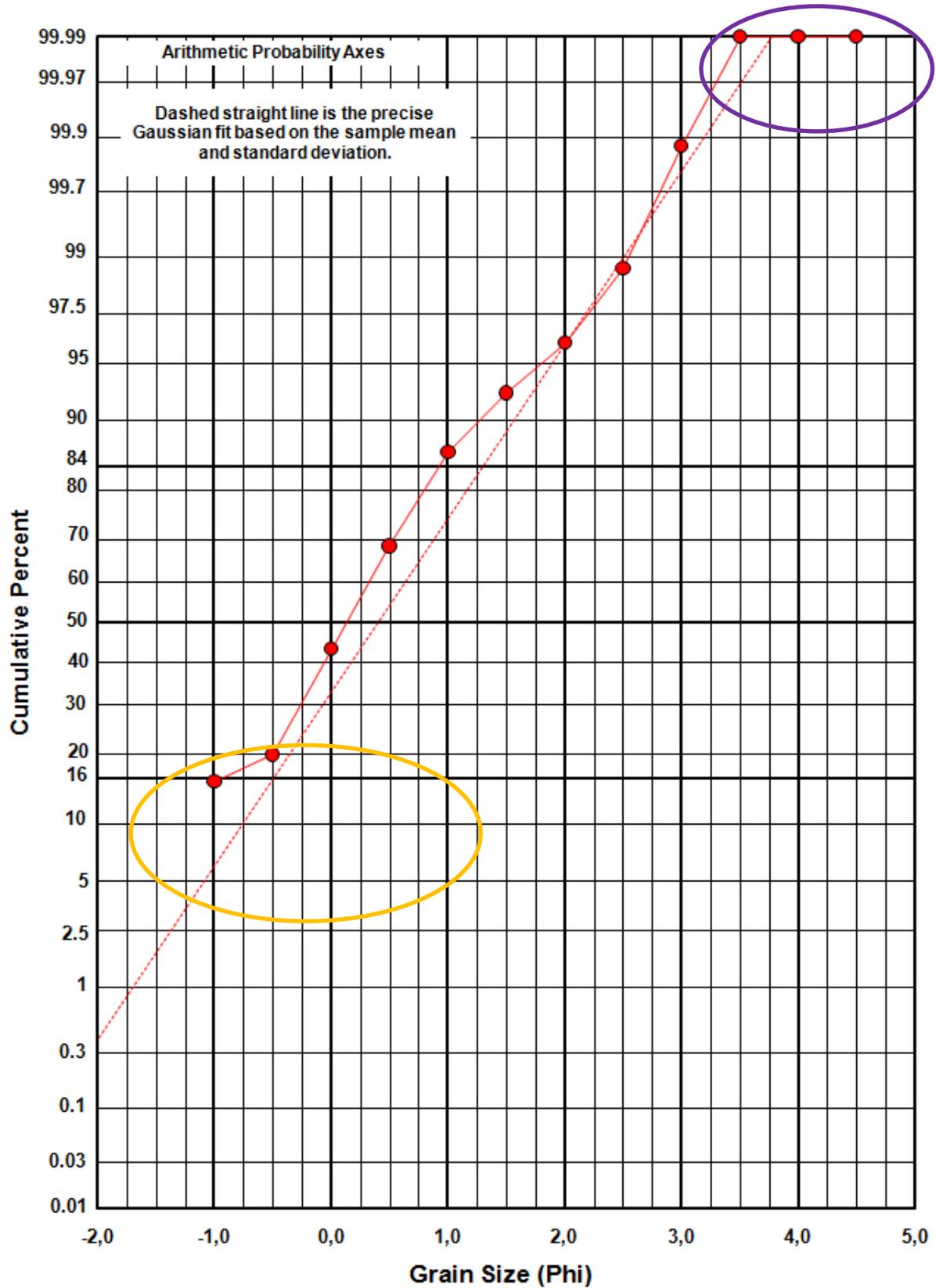


Grafico 4.16 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SP1S

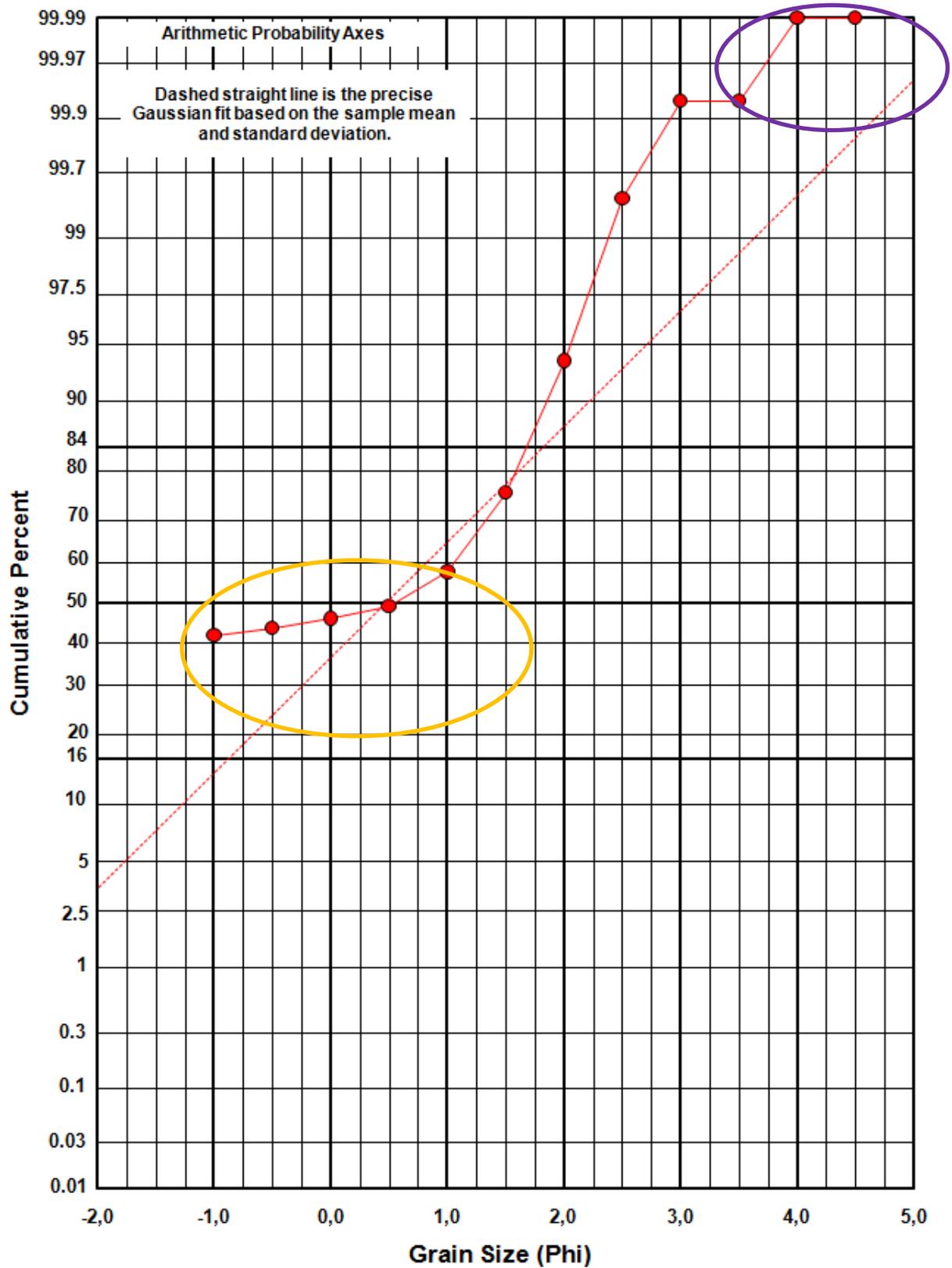


Grafico 4.17 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SP1E

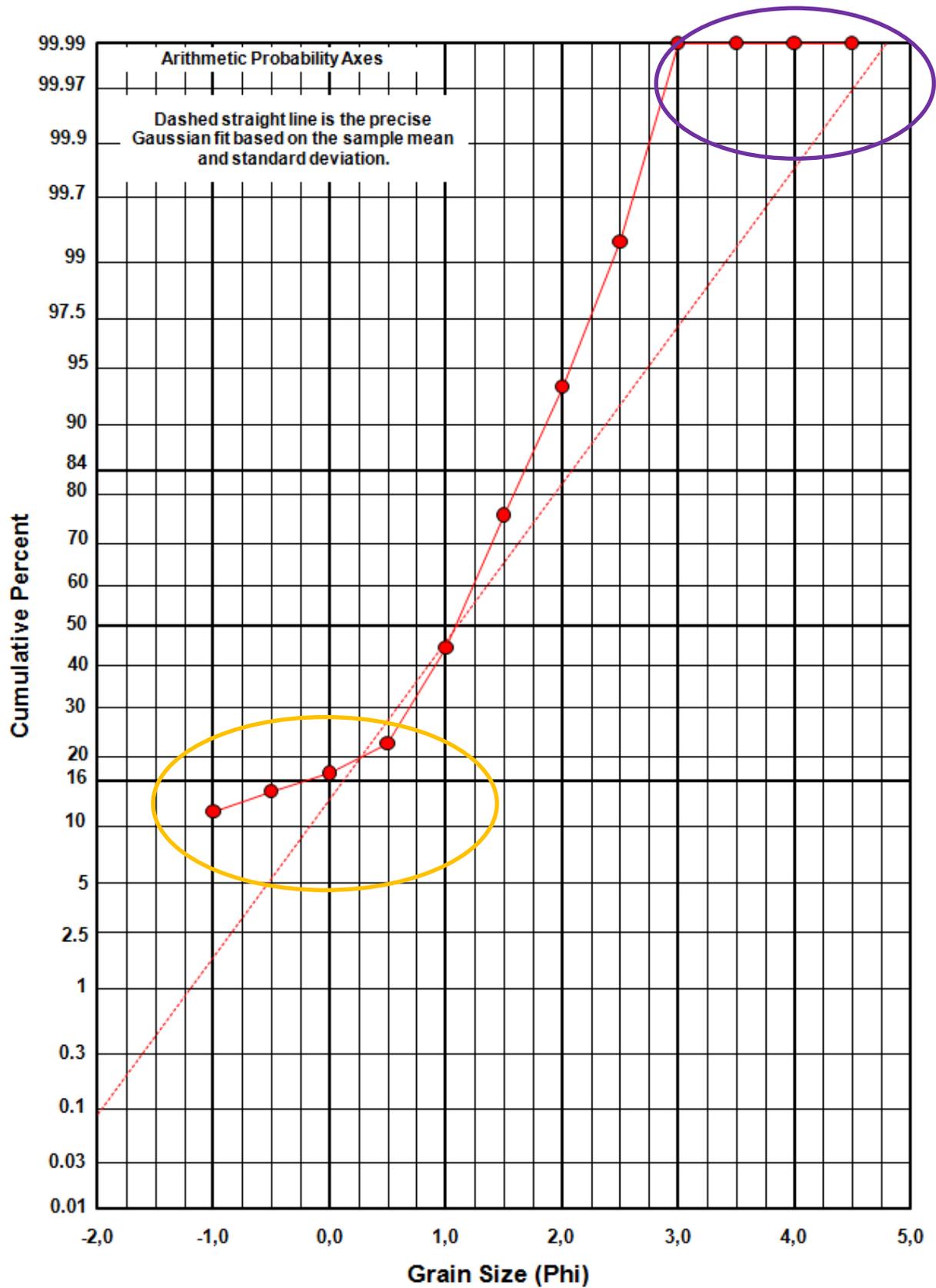


Grafico 4.18 –Diagramma di Balsillie su carta probabilistica aritmetica. Campionamento SP2S

I campioni prelevati presso il molo di sopraflutto (SOPF1A, SOPF2A, SOPF3A) mostrano chiaramente che l'agente traspo-deposizionale è rappresentato dal moto ondoso. In particolare, la presenza del ramo in basso a sinistra che va abbassandosi sul piano aritmetico (evidenziato in blu) indica che il contenuto energetico va aumentando. Nelle curva relativa al campione SOPF2A la presenza del ramo in basso a sinistra con pendenza sub-orizzontale (evidenziato in blu) una leggera riduzione del contenuto energetico.

I campioni prelevati presso il molo di sottoflutto (1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 8A, 9A, 10A) mostrano chiaramente che i fenomeni traspo-deposizionali sono governati principalmente dal moto ondoso e poi dal regime correntometrico indotto dalla presenza della foce del F. Barratina. La pendenza del ramo di curva in basso e a sinistra (evidenziato in verde) indica che livelli energetici sono modesti.

Nei campioni prelevati alla radice del molo di sopraflutto (SP1E, SP1S, SP2E, SP2S) l'accento alla presenza del ramo a sinistra avente una pendenza molto bassa e localizzato su percentuali molto elevate (evidenziato in giallo) e la presenza del ramo in alto a destra orizzontale (evidenziato in viola) indicano chiaramente la presenza dei materiali più grossolani.

Si conclude quindi che le analisi di similitudine condotte su carta probabilistica aritmetica (metodo Balsillie) confermano l'importanza fondamentale delle correnti litoranee indotte dal moto ondoso sul regime traspo-deposizionale in situ.

5. MINERALOGIA

Il DiSTeM ha eseguito l'analisi mineralogica su n. 5 campioni provenienti dalla zona sopraflutto del porto, considerando tutti gli strati (SOPF1A, SOPF1B, SOPF1C, SOPF1D, SOPF1E) e su n. 2 campioni provenienti dalla spiaggia da ripascere, uno sommerso e uno emerso (SP1E, SP1S), al fine di valutare l'idoneità dei sedimenti provenienti dalla zona di sopraflutto ad attività di ripascimento prevista.

Come mostra l'immagine successiva, le fasi mineralogiche nei campioni di sedimento provenienti dalla zona di sopraflutto del porto di Termini Imerese sono:

- i minerali carbonatici (la calcite, la calcite magnesiaca e la dolomite)
- il quarzo,
- i minerali argillosi,
- i feldspati.

I feldspati, insieme ai minerali argillosi sono, invece, assenti nei campioni provenienti dalla spiaggia, i quali sono risultati essere composti da quarzo e dolomite.

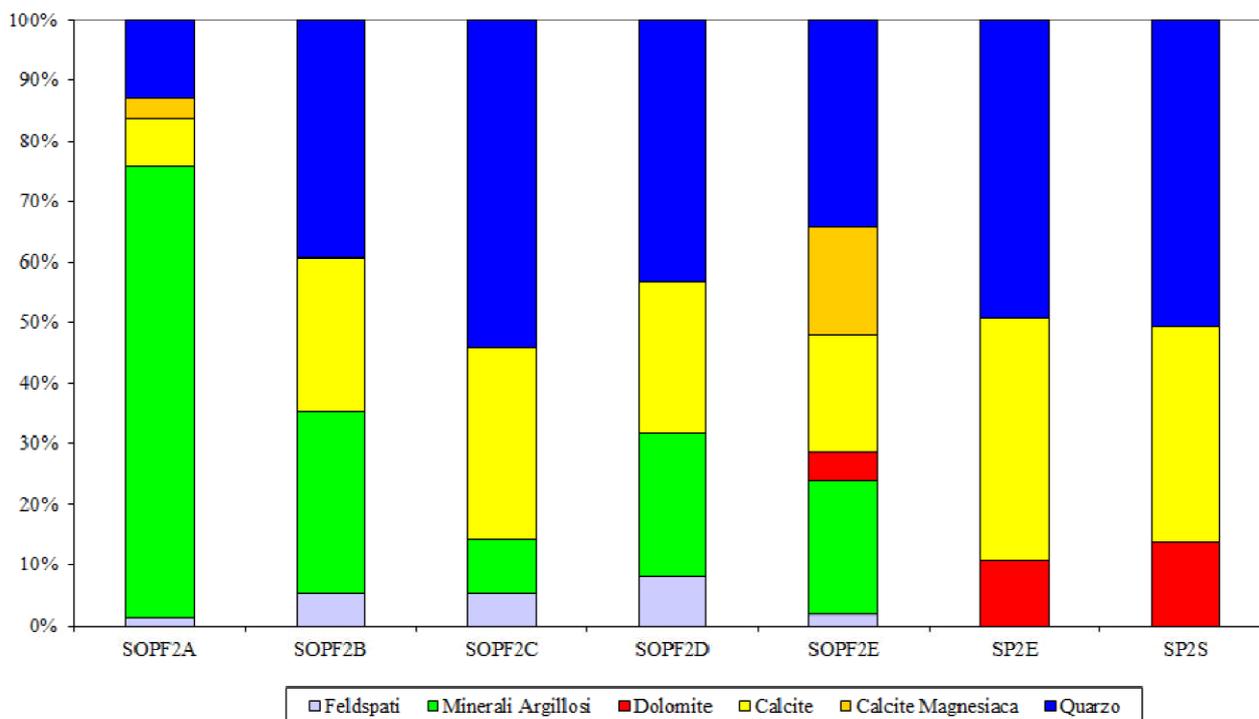


Figura 5.1 – Composizione granulometrica dei campioni prelevati dal DiSTeM nel 2012 nell'area del molo di sopraflutto e presso la spiaggia tra la foce del f. San Leonardo e la radice del molo di sopraflutto.

La presenza dei minerali argillosi nei sedimenti provenienti dalla zona del molo di sopraflutto fornisce importanti informazioni per la comprensione del vettore traspo-deposizionale.

Tali minerali sono caratteristici dei suoli che caratterizzano parte del bacino del fiume San Leonardo a valle della diga Rosamarina, come indica la carta litologica allegata alla relazione per il bacino dello stesso corso d'acqua (cfr. figura 5.2). Tali suoli durante gli eventi di pioggia intensa vengono erosi e le particelle solide vanno a costituire il minimo apporto solido fluviale fornito dal corso d'acqua. Una volta giunti alla foce per via dell'azione delle correnti litoranee indotte dal moto ondoso i sedimenti argillosi vengono trasportati verso est sino a sedimentare in

prossimità della testata attuale del molo di sopraflutto, ove i fondali diventano più alti e il regime correntometrico si attenua (cfr. anche l'elaborato "Studio della dinamica della costa").

Ciò conferma che:

- il vettore traspo-deposizionale sia alquanto influenzato dalla presente delle correnti litoranee dirette da ovest verso est e indotte dal moto ondoso del IV quadrante;
- il sito d'origine prevalente dei sedimenti sia il bacino idrografico del fiume San Leonardo.

E' quindi evidente come la regimazione del cordo idrico e la costruzione dello sbarramento della Diga Rosamarina all'inizio degli anni '80 siano state le cause principali per il depauperamento del deposito costiero e l'innescarsi dei fenomeni di erosione (cfr. l'elaborato "Studio della dinamica della costa").

Tali fenomeni erosivi hanno avuto la loro manifestazione più evidente nella scomparsa della cosiddetta "Secca di San Giovanni", che interessava l'area della testata del molo foraneo di sopraflutto fino agli '80 (cfr. l'elaborato "Studio della dinamica della costa").

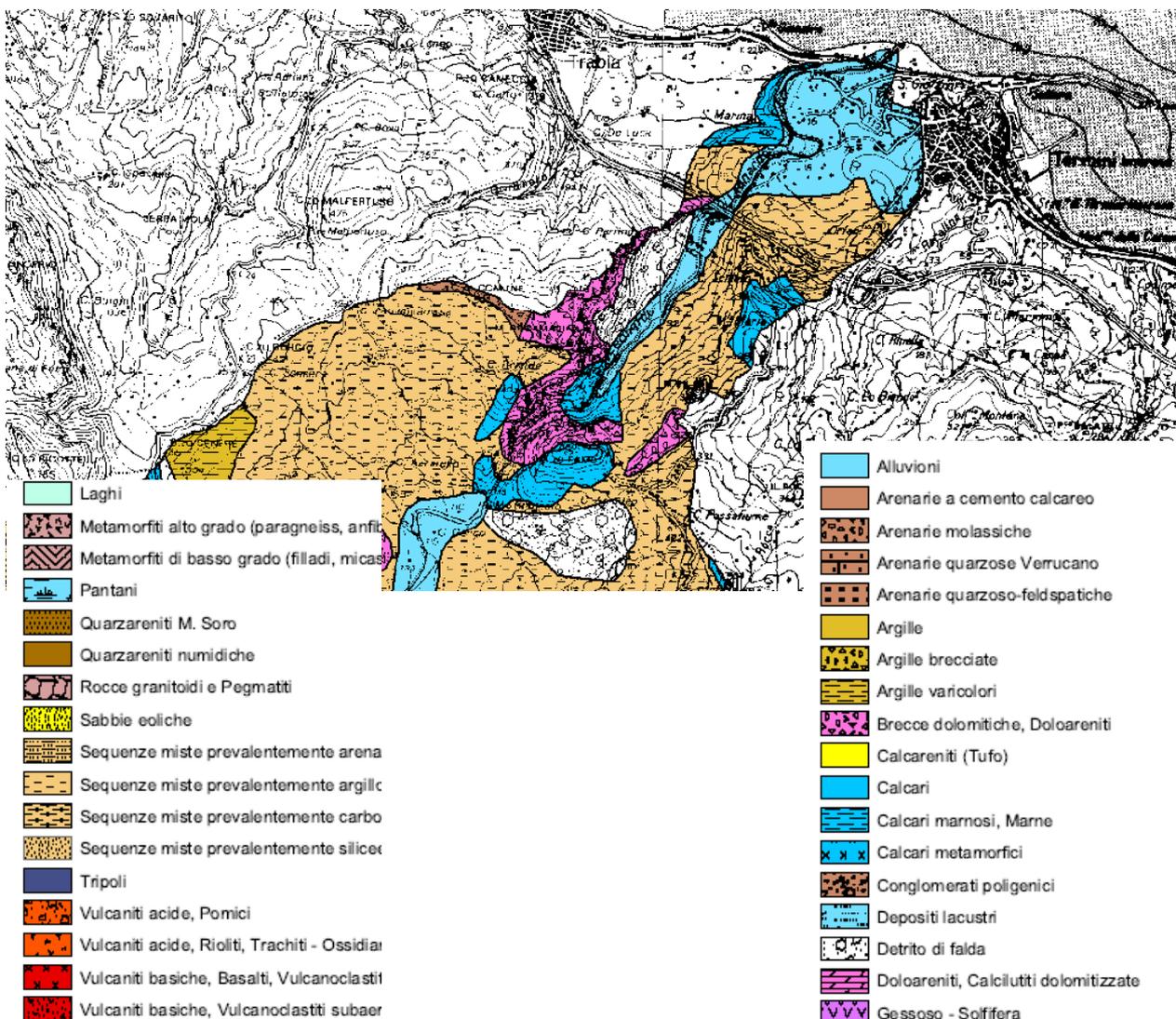


Figura 5.2 – Stralcio della "Carta della Litologia" allegata alla relazione per il bacino del F. San Leonardo, (Fonte: P.A.I. della Regione Sicilia - 2004).

6. CONCLUSIONI

In questo studio è stato possibile delineare le caratteristiche dei sedimenti presenti nel sito, secondo gli aspetti granulometrici e traspo-deposizionale.

Il sito portuale di Termini Imerese si colloca all'interno dell'unità fisiografica tra Capo Zafferano a ovest e Capo Cefalù a est.

In particolare esso è situato tra le foci del F. S. Leonardo e del F. Imera Settentrionale.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono:

- il fiume Torto
- il torrente Barratina, avente foce in prossimità dell'attuale molo di sottoflutto.

Il tratto di costa compreso tra le foci del F. S. Leonardo e del F. Imera Settentrionale è stato inteso come sub-unità fisiografica sui cui insiste il Porto di Termini Imerese.

Gli studi dell'ENEA del 2003 (cfr. "Elementi di Gestione Costiera", 2003), classificano il tratto di costa in esame principalmente come corrispondente ai morfotipi "Costa articolata" e "Costa di Litorale stretto".

Al morfotipo "Costa articolata" corrispondono i litorali a ovest del porto.

Al morfotipo "Costa di Litorale stretto" corrispondono i litorali a est del porto.

L'evoluzione del litorale è notevolmente influenzata dalle correnti marine, in quanto l'area risente soprattutto della naturale frequenza ed intensità degli agenti meteomarinari del IV quadrante, i quali causano un certo numero di mareggiate che aumentano l'entità del trasporto solido dei sedimenti.

La presenza di insediamenti civili ed opere antropiche che interferiscono con il sistema morfodinamico marino ha determinato alcune variazioni nel regime della dinamica della costa, soprattutto per quanto riguarda l'apporto solido fluviale.

Sulla base delle considerazioni sulla distribuzione e variabilità granulometrica e tessiturale dei sedimenti analizzati secondo la metodologia di Shepard (1954) e sugli indici statistici di Folk e Ward (1957), si possono effettuare le seguenti considerazioni.

- i sedimenti presenti nelle aree per il prolungamento del molo di sopraflutto sono costituiti da sabbie con un'aliquota di materiale pelitico elevata;
- i sedimenti presenti nelle aree per il prolungamento del molo di sottoflutto, a causa del basso dinamismo, sono prevalentemente costituiti da peliti.
- la componente ghiaiosa è presente solo nei campioni prelevati in corrispondenza delle zone a est della foce del fiume San Leonardo, per via della riduzione dell'apporto solido fluviale e per via degli idrodinamismi diretti da ovest verso est, che trasportano via le particelle più fini.

In generale le considerazioni sugli indici statistici di Folk e Ward (1957), le curve di Balsillie e sulla mineralogia dei sedimenti marini confermano l'importanza delle correnti litoranee indotte dal moto ondoso del IV quadrante sulla dinamica dei sedimenti all'interno dell'unità fisiografica in esame, e come tali correnti siano orientate principalmente da ovest verso est (cfr. anche gli elaborati "Studio Climatologico" e "Studio della Dinamica della Costa").

In particolare è stato confermato che il sito d'origine prevalente dei sedimenti sia il bacino idrografico del fiume San Leonardo per via delle affinità mineralogiche tra i suoli presenti sui versanti del bacino idrografico e i sedimenti prelevati presso il molo di sopraflutto.

E' quindi evidente come la regimazione del cordo idrico e la costruzione dello sbarramento della Diga Rosamarina all'inizio degli anni '80 siano state le cause principali per il depauperamento del deposito costiero e l'innescare dei fenomeni di erosione (cfr. l'elaborato "Studio della dinamica della costa").

Tali fenomeni erosivi hanno avuto la loro manifestazione più evidente nella scomparsa della cosiddetta "Secca di San Giovanni", che interessava l'area della testata del molo foraneo di sopraflutto fino agli anni '80 (cfr. l'elaborato "Studio della dinamica della costa").