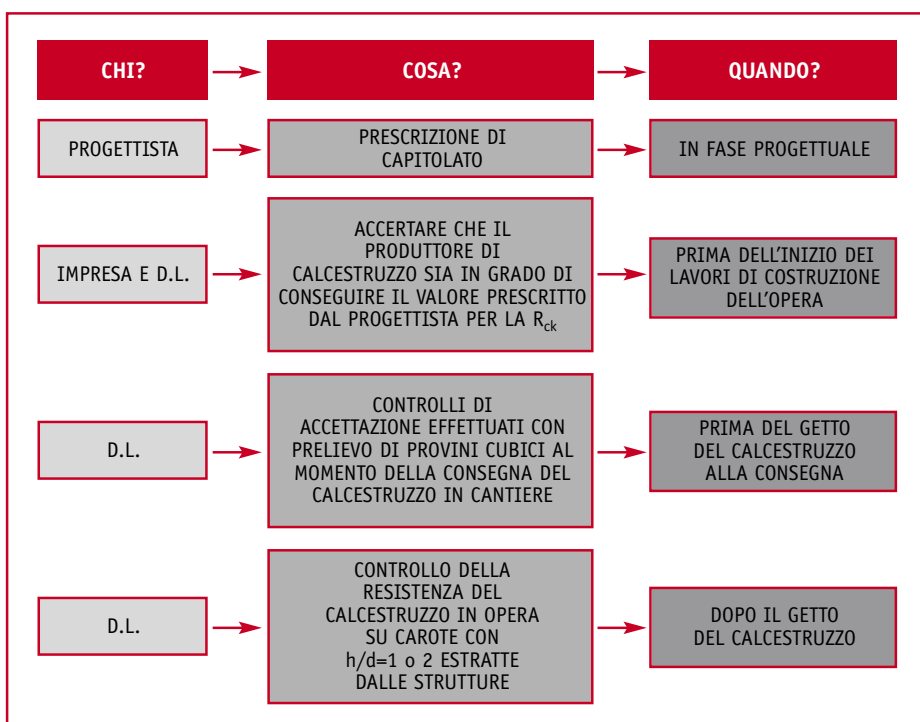


23

## IL CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Se i risultati del controllo di accettazione dovessero non soddisfare una delle disuguaglianze definite dal tipo di controllo prescelto (A o B) si dovrà procedere ad una verifica statica dell'opera sulla base della resistenza caratteristica desunta dai controlli di accettazione e inferiore al valore prescritto dal progettista delle strutture, oppure si potrà optare per un controllo della resistenza del conglomerato mediante il prelievo di carote dalla struttura realizzata con il calcestruzzo non conforme.



Al fine di stabilire quali provvedimenti adottare per le strutture nell'eventualità che il controllo di accettazione abbia dato esito negativo, ma anche in quei casi in cui il Direttore Lavori ritiene necessario valutare le prestazioni del calcestruzzo in opera ancorché i controlli eseguiti sui provini prelevati a "bocca di betoniera" abbiano dato esito positivo, le Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 - indicano che si "... potrà procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso delle prove non distruttive" come peraltro veniva già suggerito nel precedente D.M. del 9 Gennaio 1996. La novità sostanziale introdotta dalle recenti Norme Tecniche consiste invece nel fatto che le norme ammettono che **Il valore medio della resistenza del calcestruzzo in opera, determinato mediante le procedure descritte dalla norme EN 12504 parte 1 e 2, debitamente trasformato in resistenza cubica, non deve essere inferiore all'85% della resistenza a compressione media di progetto. Quest'ultima si ricava incrementando la  $R_{ck}$  di progetto di 8 N/mm<sup>2</sup>.**

Le norme indicano sostanzialmente due possibilità per la misura della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera (definito dalle norme come "**resistenza strutturale**"):

- il prelievo e successivo schiacciamento di "carote" di calcestruzzo prelevate dalle strutture con utensile a corona diamantata (norma EN 12504-1);
- la determinazione della resistenza attraverso correlazioni tra la stessa e l'indice di rimbalzo misurato sulle strutture mediante il martello di Schmidt (sclerometro) in accordo a quanto indicato dalla norma EN 12504-2.

Alla luce delle notevoli incertezze segnalate in numerosi lavori sperimentali nel correlare l'indice di rimbalzo misurato con lo sclerometro con la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo<sup>38</sup>, qui di seguito si parlerà esclusivamente dei controlli in opera basati sulla determinazione della resistenza a compressione su carote prelevate dalle strutture in accordo alla EN 12504-1. Secondo questa normativa se la resistenza caratteristica viene prescritta dal progettista su provini cubici, essendo impossibile procedere al prelievo di provini cubici direttamente dalle strutture, esiste il problema di sottoporre a prove di schiacciamento carote di snellezza minore rispetto a



*Carota in cls*

quelle con  $h/d=2$  per rendere comparabili i valori ottenuti con quello prescritto che si riferisce a provini cubici. Infatti, se si adottassero per la determinazione della resistenza carote con  $h/d=2$ , il valore misurato risulterebbe comunque inferiore (di circa il 17-20%) a quello misurato su provini cubici per via della maggiore snellezza. Per superare questo problema la norma EN 12504-1 stabilisce che la resistenza a compressione deve essere valutata, al fine di renderla comparabile dal punto di vista geometrico a quella misurata su cubi, su carote estratte dalle strutture contraddistinte da un rapporto  $h/d=1$ . Essendo queste ultime elementi di geometria tozza i valori di resistenza misurati su queste carote sono paragonabili dal punto di vista geometrico a quelli determinati su provini cubici. D'altra parte le stesse *Linee Guide sul Calcestruzzo Strutturale* indicano che la resistenza su provino cilindrico con  $h/d=1$  è superiore del 18% a quella misurata su provino cilindrico con  $h/d=2$ . Quindi, se la resistenza a compressione su provini cilindrici ( $h/d=2$ ) è, in accordo alle norme tecniche, inferiore del 17% rispetto a quella misurata su provino cubico, si deve concludere che **dal punto di vista geometrico è equivalente misurare la resistenza a compressione su un provino cubico oppure su un provino cilindrico con rapporto  $h/d=1$ .**

Chiarito questo aspetto relativo alla geometria dei provini (le Norme Tecniche suggeriscono infatti che il "...valore medio misurato con tecniche opportune e debitamente trasformato in resistenza cubica...") occorre adesso addentrarsi nello spiegare il perché la norma ammette per il calcestruzzo in opera un valore medio della resistenza meccanica a compressione misurato su carote con rapporto  $h/d=1$  inferiore del 15% rispetto a quello della resistenza convenzionale caratteristica prescritta dal progettista delle strutture.

Innanzitutto, occorre evidenziare come le Norme Tecniche accettino per la prima volta che la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera sia inferiore rispetto a quello prescritto dal progettista. Si può sostenere che per il calcestruzzo in opera sia ammessa una sorta di *malus* del 15%. Questa posizione del legislatore è assolutamente condivisibile nei suoi aspetti generali in quanto nella progettazione delle sezioni di elementi in calcestruzzo la resistenza di calcolo si desume dividendo la  $f_{ck}$  attraverso un coefficiente parziale di sicurezza (che vale 1.5) che tiene conto che la resistenza del calcestruzzo in opera è inferiore a quella misurata sui provini cubici confezionati "a bocca di betoniera" in quanto corrisponde:

- ad una pratica impossibilità da parte dell'impresa esecutrice di compattare a rifiuto il calcestruzzo con la stessa efficacia e la stessa facilità con cui si può garantire la completa espulsione dell'aria in un provino cubico (quello utilizzato per i controlli di accettazione a bocca di autobetoniera) di circa 3.5 litri.
- ad una pratica impossibilità da parte dell'impresa esecutrice di garantire per la struttura una maturazione umida per 28 giorni dall'esecuzione dei getti alla stregua di quanto avviene, invece, per la maturazione dei cubetti confezionati a "bocca di betoniera".
- oltre a due aspetti esecutivi evidenziati ai due punti precedenti, occorre tener presente che **la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera è anche strettamente dipendente dalla temperatura del conglomerato durante la maturazione e in particolare nella fase immediatamente successiva al getto.**



*Prelievo di carote da un muro di contenimento*

Come per i controlli di accettazione effettuati sui provini prelevati a bocca di betoniera anche nel caso della resistenza a compressione misurata sulle carote estratte dalle strutture in opera il problema riveste una duplice natura: quella che attiene agli aspetti strutturali, di durabilità e di generale sicurezza delle strutture e quella più propriamente tesa a individuare le responsabilità di eventuali non conformità rispetto a quanto indicato dalle norme tecniche, allorquando, cioè, la resistenza media misurata su carote di calcestruzzo con rapporto  $h/d=1$  prelevate dalle strutture in opera risulti inferiore di più del 15% rispetto al valore medio di progetto.

Per meglio comprendere le implicazioni derivanti dalla novità introdotta dalle Norme Tecniche analizziamo le diverse casistiche che possono presentarsi nella realtà riassunte nelle Tabelle che seguono che si riferiscono a due situazioni distinte: la prima è quella relativa ad un cantiere dove correttamente la Direzione Lavori procede all'effettuazione dei controlli di accettazione. La seconda, invece, in una situazione dove per la mancanza dei prelievi effettuati a bocca di betoniera si controlla la sola resistenza del conglomerato in opera.

Le situazioni riassunte nelle Tabelle si riferiscono a cantieri dove il controllo della resistenza in opera avvenga, ovviamente, dopo che siano trascorsi almeno 28 giorni dall'esecuzione dei getti sia perché il valore medio della resistenza deve essere confrontato con quello caratteristico che si intende riferito ai 28 giorni, che per evitare indesiderati deleteri effetti di disturbo prodotti dall'azione del carotiere su calcestruzzi troppo giovani. L'età della struttura al momento del prelievo delle carote, inoltre, deve essere necessariamente prolungata se la temperatura del conglomerato in opera è risultata molto più bassa di 20°C. Ad esempio, se la struttura è realizzata nel periodo invernale potrebbe essere necessario posticipare il prelievo delle carote dopo i 60 giorni dal getto proprio per permettere che il calcestruzzo in opera possa raggiungere un grado di idratazione paragonabile a quello del provino maturato per 28 giorni ma a 20°C. Allo stesso modo la scelta del diametro della carota deve essere effettuata sulla base della dimensione massima dell'aggregato. Generalmente verranno prelevate carote con diametro e altezza pari a 100 mm che verranno sottoposte a rettifica meccanica prima delle prove di schiacciamento. I valori ottenuti, inol-

tre, dovranno tener conto della posizione del carotaggio, della direzione di carotaggio rispetto a quella di getto, del grado di umidità del calcestruzzo delle carote al momento della prova. Infine, prima di procedere al prelievo è opportuno con un magnetometro individuare le zone della struttura prive di armature che potrebbero penalizzare il valore di resistenza.

La normativa non specifica il numero di carote da sottoporre a prove di schiacciamento, tuttavia, si deve ritenere che per la validità del controllo della resistenza in opera si debba prelevare almeno tre carote e, comunque, non meno di sei carote per ogni tipologia di elementi strutturali (i plinti di un fabbricato, i muri di un cantinato, i pilastri del 1° piano, le travi e le solette dell'ultimo impalcato, etc.). In alternativa, si può fare utile riferimento alla norma EN 13791 la quale prevede un numero minimo di tre carote per ogni tipologia di elementi da indagare e un numero complessivo di carote almeno pari a 15 (*Approach A*) oppure compreso tra 3 e 14 (*Approach B*).

In questo contesto si possono analizzare le casistiche possibili riassunte nella Tabella che si riferisce ad una serie di elementi strutturali per i quali il progettista ha prescritto l'impiego di calcestruzzo con  $R_{ck}$  di 30 N/mm<sup>2</sup> ed un controllo di accettazione di tipo B.

**CASO 1 – Il controllo di accettazione effettuato sui cubetti a bocca di betoniera risulta positivo e nel contempo il valore medio della resistenza cubica in opera, ancorché inferiore a quello misurato sui provini cubici, risultando maggiore dell'85% del valore medio di progetto (38 N/mm<sup>2</sup>), è anch'esso conforme a quanto specificato dalle Norme Tecniche.** In questo caso, la direzione lavori non deve eseguire nessuna verifica dei livelli di sicurezza delle strutture. In sostanza, **la normativa ritiene che la penalizzazione del valore della resistenza cubica media ("la resistenza strutturale") in opera, essendo contenuta al di sotto del 15% del valore medio di progetto, è ampiamente compensata dai coefficienti parziali di sicurezza del materiale adottati per le verifiche già effettuate dal progettista dell'opera.** Tutti gli attori coinvolti hanno svolto correttamente i compiti assegnati.

**CASO 2 - Il controllo di accettazione effettuato sui cubetti a bocca di betoniera risulta positivo mentre il valore medio della resistenza cubica in opera, è inferiore all'85% del valore medio di progetto prescritto dal progettista.** In questo contesto gli scadenti valori della resistenza a compressione in opera evidenziano una erronea manipolazione da parte dell'impresa di un calcestruzzo fornito dal produttore in conformità alle specifiche progettuali. Queste situazioni sono da ascrivere ad errori nella posa (segregazione esterna dei getti soprattutto in elementi inclinati quali travi di copertura, solette di scale, rampe di accesso a parcheggi), a compattazioni inefficaci (tempo insufficiente di vibrazione, inserimento troppo diradato o poco profondo del vibratore nel getto, etc) e/o ad una maturazione umida assente o di breve durata. La situazione accertata impone alla Direzione Lavori di procedere ad una verifica del livello di sicurezza delle strutture utilizzando un valore caratteristico più basso di quello prescritto e desunto dalla seguente correlazione:  $R_{m,opera}/0.85 - 8$ . Ad esempio, se nel caso di Tabella 1 il valore medio della resistenza in opera fosse risultato di 31.5 N/mm<sup>2</sup> le verifiche possono essere condotte con un nuovo valore caratteristico pari a 29 N/mm<sup>2</sup> (31.5/0.85 - 8). E' evidente che in questo contesto qualsiasi onere derivante dal controllo dei livelli di sicurezza (dequalificazione dell'opera, esecuzione di lavori di consolidamento o demolizione) ricade sotto l'esclusiva responsabilità dell'impresa.

**CASO 3 - Il controllo di accettazione effettuato sui cubetti a bocca di betoniera risulta negativo evidenziando per il calcestruzzo un valore caratteristico inferiore a quello prescritto. Il valore medio della resistenza cubica in opera, invece, è maggiore dell'85% del valore medio effettivo del calcestruzzo fornito.** Anche in questo caso ci sono pochi dubbi sulle responsabilità della mancata conformità del calcestruzzo al valore prescritto che va attribuita in toto al fornitore del conglomerato. Inoltre, il valore medio misurato in opera superiore all'85% del valore medio realmente posseduto dal conglomerato fornito evidenzia come l'impresa abbia correttamente utilizzato il conglomerato procedendo ad una corretta posa in opera, compattazione e maturazione dei getti. Pertanto, eventuali provvedimenti che la Direzione Lavori dovesse adottare a seguito della verifica



dei livelli di sicurezza delle strutture – che anche in questo caso si rende necessaria - dovranno essere imputati al fornitore del conglomerato.

**CASO 4 - Il controllo di accettazione effettuato sui cubetti a bocca di betoniera risulta negativo evidenziando per il calcestruzzo un valore caratteristico inferiore a quello prescritto. Il valore medio della resistenza cubica in opera, inoltre, risulta inferiore all' 85% del valore medio effettivo del calcestruzzo fornito.** In questo contesto entrambi gli attori (fornitore di conglomerato e impresa) hanno operato in difformità a quanto richiesto dalla progettazione e dalle norme. Il produttore, infatti, ha fornito un calcestruzzo non conforme e l'impresa lo ha messo in opera in maniera erranea. Le responsabilità del mancato possesso dei livelli di sicurezza stabiliti dal progettista che dovessero emergere dalla verifica strutturale sono da imputare ad entrambi i soggetti coinvolti.

Casistiche possibili nei controlli di accettazione del conglomerato al momento della fornitura e dalle strutture in servizio.

Caso	$R_{ck}$ di progetto nominale	$R_m$ $R_{15}$ $R_{ck\text{effett}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Controllo su provini cubici a bocca di betoniera	$R_{m\text{opera}}$ (controllo in opera su carote con $h/d=1$ )	Implicazioni strutturali (verifica livello di sicurezza)	Implicazioni legali (verifica delle responsabilità)
1	30	37.5 26.5 5 30	POSITIVO	>32.3 N/mm <sup>2</sup> (pari all'85% del valore medio di progetto)  POSITIVO	NON OCCORRE effettuare nes- suna ulteriore verifica dei livel- li di sicurezza della struttura. Valgono, cioè, le verifiche già effettuate dal cal- colatore in fase progettuale.	Entrambi gli attori hanno rispettato le prescrizioni. Il calcestruzzo forn- ito dal produttore è conforme alle specifiche del pro- gettista. L'impresa ha realizzato una corretta messa in opera dell'impas- to.
2	30	37.5 26.5 5 30	POSITIVO	<32.3 N/mm <sup>2</sup> (pari all'85% del valore medio di progetto)  NEGATIVO	OCCORRE procedere ad una verifica dei livel- li di sicurezza delle strutture sulla base del valore ridotto della resistenza a compressione.	Il produttore ha fornito calce- struzzo conforme al valore prescrit- to. L'impresa ha realizzato una scadente posa in opera dell'impas- to. <b>Le responsa- bilità sono esclu- sive dell'impresa.</b>
3	30	32.5 22.5 5 25	NEGATIVO	>28 N/mm <sup>2</sup> (cioè dell'85% del valore medio effettivo del calcestruzzo fornito)  POSITIVO	OCCORRE procedere ad una verifica dei livel- li di sicurezza delle strutture sulla base del valore ridotto della resistenza a compressione.	Il produttore ha fornito calcestruz- zo non conforme. Per contro l'impre- sa ha eseguito una corretta posa in opera del con- glomerato. <b>Le responsabilità sono esclusive del produttore.</b>
4	30	32.5 22.5 5 25	NEGATIVO	<28 N/mm <sup>2</sup> (cioè dell'85% del valore medio effettivo del cal- cestruzzo fornito)  NEGATIVO	OCCORRE procedere ad una verifica dei livel- li di sicurezza delle strutture sulla base del valore ridotto della resistenza a compressione.	Calcestruzzo non c o n f o r m e . L'impresa ha ese- guito una scaden- te posa in opera del conglomerato. <b>Le responsabilità sono sia del pro- duttore che del- l'impresa.</b>



Come abbiamo potuto notare dall'analisi dei casi precedenti è sempre possibile risalire alle responsabilità di eventuali non conformità quando la Direzione Lavori correttamente realizza i controlli di accettazione al momento della consegna del calcestruzzo in cantiere procedendo al confezionamento, alla conservazione e alla maturazione dei provini in accordo alle norme sopramenzionate e successivamente decida di effettuare anche il controllo della resistenza in opera mediante il prelievo delle carote. La situazione, invece, diventa più complicata in quei contesti in cui una disattenta Direzione Lavori omette di effettuare i controlli di accettazione, contravvenendo già ad un obbligo di legge, e successivamente decida di valutare la resistenza del calcestruzzo dalle strutture in opera: le casistiche possibili in questa evenienza sono riassunte nella Tabella che segue.

Casistiche possibili in cantiere dove erroneamente non sono stati effettuati i controlli di accettazione del conglomerato.

Caso	$R_{ck}$ di progetto nominale	$R_m$ $R_1$ s $R_{ckeffet}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Controllo su provini cubici a bocca di betoniera	$R_{m\ opera}$ (controllo in opera su carote con $h/d=1$ )	Implicazioni strutturali (verifica livello di sicurezza)	Implicazioni legali (verifica delle responsabilità)
5	30	Prelievi non eseguiti	Controllo non effettuato	>32.3 N/mm <sup>2</sup> (cioè maggiore dell'85% del valore medio di progetto)  <b>POSITIVO</b>	<b>NON OCCORRE effettuare nes- suna ulteriore verifica dei livel- li di sicurezza</b> della struttura. Valgono, cioè, le verifiche già effettuate dal cal- colatore in fase progettuale.	Entrambi gli attori hanno rispettato le prescrizioni. Il calcestruzzo forn- ito dal produttore è conforme alle specifiche del pro- gettista. L'impresa ha realizzato una corretta messa in opera dell'impas- to.
6	30	Prelievi non eseguiti	Controllo non effettuato  Impossibile stabi- lire eventuali non conformità del calcestruzzo forn- ito. La responsa- bilità di questa incertezza deve essere attribuita alla D.L.	<32.3 N/mm <sup>2</sup> (cioè < dell'85% del valore medio di progetto)  <b>NEGATIVO</b>	<b>OCCORRE procedere ad una verifica dei livel- li di sicurezza</b> delle strutture sulla base del valore ridotto della resistenza a compressione.	Per la mancata esecuzione dei prelievi valori non conformi (inferiori dell'85% del valo- re prescritto) ricad- ono esclusivamente a carico dell'impresa. Ques't'ultima infatti è la sola responsabile della qualità del con- glomerato al momento del pas- saggio di conse- gne dello stesso durante lo scarico in cantiere.

**CASO 5 - Il controllo di accettazione sui cubetti a bocca di betoniera non è stato effettuato. Il valore medio della resistenza cubica in opera, invece, è maggiore dell'85% del valore medio di progetto prescritto dal progettista.** In questo caso, la direzione lavori non deve eseguire nessuna verifica dei livelli di sicurezza delle strutture. Non ci sono, infatti, non conformità. Questo caso è assimilabile a quello 1 descritto in precedenza. Esiste comunque la possibilità, anche se impossibile da dimostrare, che il calcestruzzo fornito potesse essere di resistenza caratteristica maggiore di quella prescritta e che questo abbia mascherato una erronea posa in opera dell'impresa. Questa situazione è comune di scarso interesse dal punto di vista pratico.

**CASO 6 - Il controllo di accettazione sui cubetti a bocca di betoniera non è stato effettuato. Il valore medio della resistenza cubica in opera, inoltre, è inferiore all'85% del valore medio di progetto prescritto dal progettista.** Questa purtroppo è la situazione più intricata da risolvere. Dal punto di vista della sicurezza strutturale è innegabile che si



Gruppo Cementirosi S.p.A.

debba procedere ad una verifica dei livelli di sicurezza dell'opera. I costi conseguenti ai provvedimenti che occorre intraprendere per eliminare eventuali non conformità emerse dalla verifica debbono essere sostenuti dall'impresa esecutrice delle opere. Questo assunto discende dal fatto la responsabilità del produttore di calcestruzzo si annulla al momento della consegna del calcestruzzo in cantiere. Infatti, l'obiettivo del controllo di accettazione del calcestruzzo effettuato con i prelievi a bocca di betoniera è proprio finalizzato a valutare la qualità del conglomerato al momento del passaggio di consegna fornitore/impresa. Nel CASO 6 esiste comunque la possibilità che alla non conformità della resistenza in opera possa aver contribuito anche la scadente qualità del calcestruzzo fornito, ma purtroppo, per la mancata esecuzione dei controlli di accettazione, questo non è più univocamente dimostrabile. E' questo il motivo per il quale l'impresa dovrebbe esigere che la direzione lavori effettuasse i controlli di qualità anche a garanzia del proprio operato durante la messa in opera del calcestruzzo. In presenza di una Direzione Lavori che opera in difformità alle Norme Tecniche, contravvenendo, quindi, ad un obbligo stabilito dalla Legge, l'impresa deve formalizzare alla D.L. questa sua inadempienza in forma scritta e procedere, a tutela del suo operato, a controllare la qualità del calcestruzzo mediante prelievi effettuati da un Laboratorio Autorizzato in presenza del fornitore.



Gruppo Cementirosi S.p.A.

---

<sup>38)</sup> L'indice di rimbalzo è affetto, ad esempio, dalla rigidità, dalla dimensione massima e dal volume di aggregato grosso che, invece, hanno scarsa influenza sulla resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo. L'indice di rimbalzo, inoltre, può essere significativamente influenzato dal grado di carbonatazione e dal contenuto di umidità degli strati più superficiali di calcestruzzo che, per contro, non modificano i valori di resistenza meccanica a compressione del conglomerato. In definitiva, le correlazioni fornite generalmente sugli sclerometri tra resistenza a compressione e indice di rimbalzo non possono ritenersi valide per qualsiasi tipo di calcestruzzo.